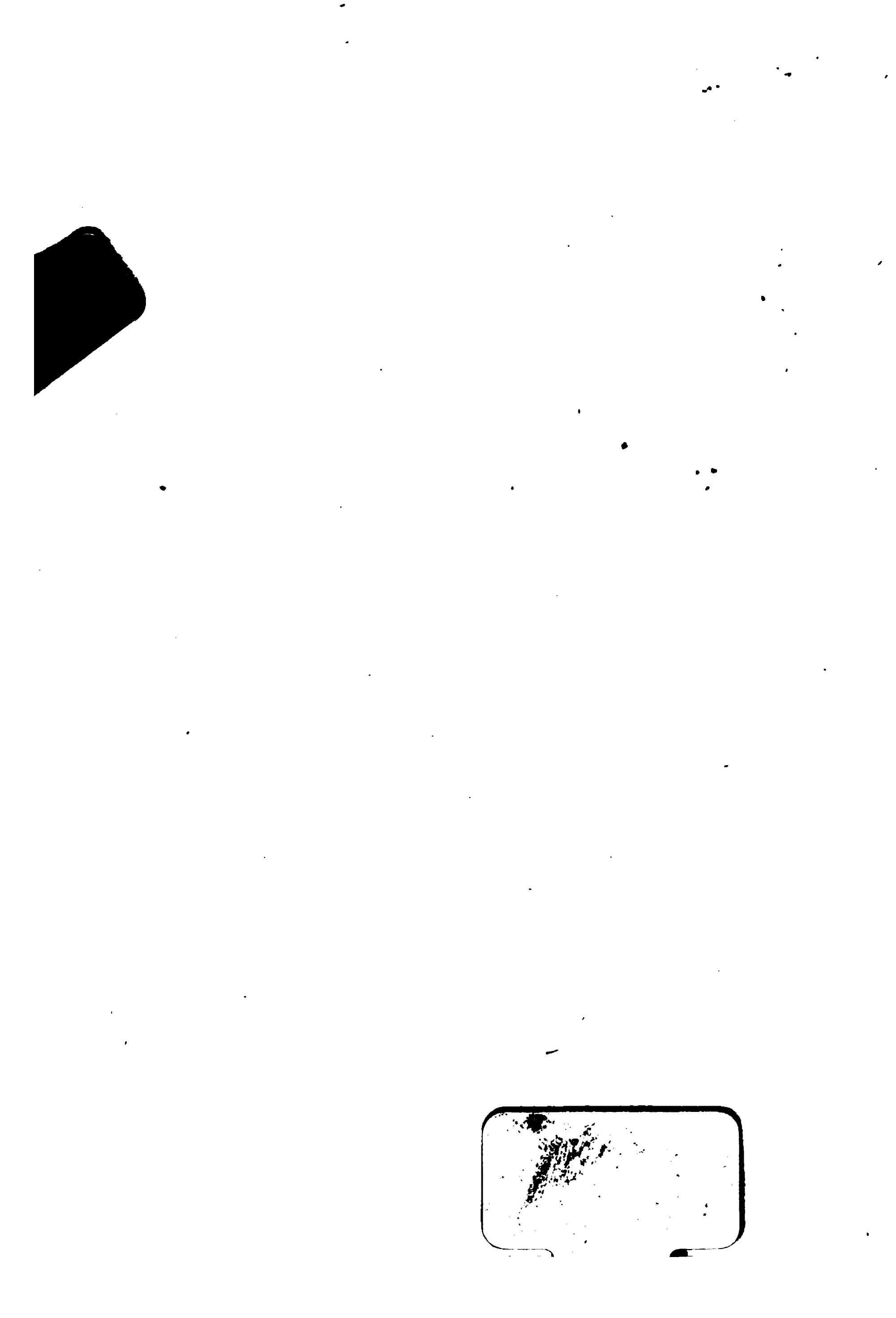




A Monsieur le Recteur de l'Université d'Oxford
Hommage de l'Auteur

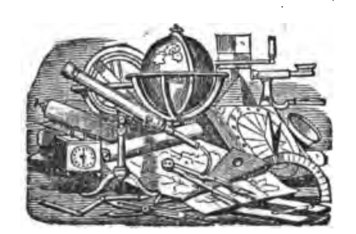
A. Bonabry

INONDATIONS

CAUSES PRINCIPALES
ET
PRÉSERVATIFS

Par A. BONABRY, Professeur,
Membre de la Société des Études, littéraires, scientifiques et artistiques du Lot.

Prix : 2 Fr.



EN VENTE A CAHORS
CHEZ L'AUTEUR,
Chez M. CRAYSSAC, libraire.
1876

CAHORS, IMPRIMERIE J.-B. PIGNÈRES.

INONDATIONS

CAUSES PRINCIPALES

ET

PRÉSERVATIFS

Par A. BONABRY, Professeur,
Membre de la Société des Études, littéraires, scientifiques
et artistiques du Lot.

Prix : 2 Fr.





EN VENTE A CAHORS
CHEZ L'AUTEUR,
Chez M. CRAYSSAC, libraire.

1876

INONDATIONS

CAUSES PRINCIPALES

ET

PRÉSERVATIFS

Par **A. BONABRY**, Professeur,

Membre de la Société des Études, littéraires, scientifiques
et artistiques du Lot.

Prix : 2 Fr.



EN VENTE A CAHORS

CHEZ L'AUTEUR,

Chez M. CRAYSSAC, libraire.

1876

ils sont liés par la reconnaissance et les nécessités de leur position, les trouveront nécessairement plus disposés à l'admiration qu'à la critique. D'autres, dont le manque de connaissances sera évident pour eux-mêmes, et dont les relations auront été différentes, seront, sans doute, beaucoup plus exposés à se tromper ; mais leurs erreurs pourront n'être pas les mêmes, et leurs renseignements pourront être précieux. L'histoire nous montre, par des milliers d'exemples, que les idées véritablement utiles et pratiques ne proviennent pas exclusivement des savants : la classe des simples ouvriers peut revendiquer une part honorable des inventions utiles. Il serait donc imprudent et injuste de rejeter, à priori, toute étude sur un sujet important, par cela seul qu'elle ne proviendrait pas des sommités scientifiques. Ceux mêmes qui manquent complètement d'études spéciales peuvent apporter parfois des renseignements importants, surtout si un projet touche à leur intérêt particulier. Ils peuvent faire connaître des inconvénients et proposer des procédés auxquels les hommes spéciaux n'auraient peut-être pas songé. Ceux-ci sont souvent préoccupés simultanément d'études nombreuses et complexes ; tandis que le simple particulier, qui croit ses intérêts en cause, concentre toutes ses facultés sur le détail qui l'intéresse.

Pour moi, je désire avant tout d'être utile, c'est dans ce but que je présente à l'examen et à la critique quelques réflexions inspirées par le seul désir de voir cesser les inondations. Je suis loin de posséder les connaissances qui seraient nécessaires pour traiter convenablement cette grave question. Je regrette de n'avoir ni le temps, ni les renseignements nécessaires pour l'étudier plus à fond, je souhaite qu'une noble émulation s'établisse, et que mon mémoire puisse servir de texte d'étude à ce public intelligent et nombreux dont l'instruction n'égale pas la passion de faire du bien. Je désire ardemment que beaucoup d'autres apportent des projets meilleurs et que les inspecteurs généraux des ponts et chaussées à qui le Maréchal Président de la République a confié l'étude de cette si grave question, n'aient qu'à faire un choix entre des projets excellents. Une solution sérieuse, véritablement pratique, de cette question séculaire, ne sera pas une des moindres gloires de notre époque, de notre chère

patrie et du gouvernement qui l'aura provoquée et conduite à bonne fin.

Le 25 octobre 1875, j'ai adressé un premier mémoire à M. Frémy, président à l'Académie des Sciences. Un mois et demi après M. Pagès Duport recevait à ce sujet la lettre suivante :

« Paris, le 7 décembre 1875.

» Monsieur,

» La réception du mémoire de M. Ant. Bonabry a été » consignée dans le *compte rendu imprimé* de la séance » du 2 novembre 1875.

» L'examen en a été renvoyé à une commission composée » de MM. le général Morin, Belgrand et Rolland.

» Si le travail de M. Bonabry auquel vous vous intéressez » devient l'objet d'un rapport devant l'Académie je m'em- » presserai de vous le faire connaître ainsi que vous en » exprimez le désir à M. Frémy.

» Veuillez agréer, etc.

Le rapport de l'Académie n'arrivant pas, je n'avais pas attendu la lettre précédente pour préparer un second exemplaire que j'ai pris la liberté d'adresser au premier magistrat du pays, qui a déjà tant fait pour les inondés.

A la suite de mon envoi, j'ai été honoré des lettres suivantes. Bien qu'elles ne prouvent rien en faveur du mémoire, je les cite néanmoins, parce qu'elles témoignent de la sollicitude du gouvernement pour les intérêts du pays.

« Versailles, 10 décembre 1875.

» Monsieur,

» Le Maréchal Président de la République a reçu votre » lettre du 6 de ce mois et le mémoire traitant des inonda- » tions, qui l'accompagnait.

» J'ai l'honneur de vous informer que par ordre du » Maréchal Président votre travail vient d'être soumis à » l'examen de M. le Ministre des Travaux publics.

» Recevez, etc.

» Le Colonel, chef du cabinet,

» Signé : L. Robert. »

« Paris, 23 décembre 1875.

» Monsieur,

» Monsieur le Président de la République m'a transmis,

» comme rentrant dans mes attributions, le mémoire que
» vous lui avez adressé, le 6 décembre courant, sur les
» causes principales des inondations et les moyens de les
» prévenir.

» J'ai l'honneur de vous informer que je viens de soumettre
» votre mémoire à une commission d'Inspecteurs géneraux
» des ponts et chaussées chargée de l'examen des questions
» relatives aux inondations.

» Recevez, etc.

» Le Ministre des Travaux Publics,

» Signé : E. CAILLAUX. »

J'ignore quel sera le sort de mon mémoire qui renferme bien des incorrections. L'exemplaire envoyé à l'Institut ne contenait pas la solution de quelques objections qui m'ont été faites depuis. Mes occupations me permettaient d'y travailler seulement à la veillée et j'avais hâte de l'envoyer. Je me suis peu soucié de ce qu'on penserait de l'érudition de l'auteur et j'ai pensé que l'importance du sujet ferait pardonner la rédaction. La présente étude contient, en outre du mémoire adressé au Maréchal Président de la République, quelques additions importantes, la solution de quelques objections, et certains développements que j'ai crus propres à intéresser le public, mais qui auraient été inutiles dans les deux exemplaires précédents.

A cette occasion, je réclame l'indulgence pour une rédaction qui, par la nature du sujet, présente quelques difficultés. Certains développements inutiles et même fastidieux pour ceux à qui ces sortes d'études sont familières, sont cependant indispensables à beaucoup d'autres qui, sans avoir des connaissances spéciales, peuvent cependant s'intéresser au travail et apporter un concours utile. J'avais donc deux écueils à éviter ; je ne sais si j'y suis parvenu.

Je suis persuadé que, malgré ses défauts, cette étude contient quelques vérités utiles, trop peu connues et, surtout, trop oubliées dans la pratique. Elle contient encore quelques théories nouvelles sur des desiderata de la science. Je serai heureux si elle provoque quelques réflexions efficaces, surtout, si elle fait réaliser quelques améliorations.

Quelques personnes après avoir pris une connaissance sommaire de ce travail, ou même, n'en connaissant que le seul

titre, ont vu des avantages possibles à sa publication, et ont voulu m'encourager par leur souscription. Je leur témoigne ici ma reconnaissance pour un concours qui recommande mon travail, me montre leur bienveillance à mon égard, et prouve leur dévouement à l'humanité et à la patrie.

Si quelques personnes veulent bien me communiquer quelques renseignements soit locaux, soit généraux, je leur en serai très-reconnaissant.

Désirant le concours de tous, j'ai voulu ne négliger aucun genre de preuves. Il était à craindre que l'argumentation syllogistique, usitée en mathémathiques ne rebutât quelques personnes, sans rejeter un genre de démonstration aussi inflexible dans ses conclusions, j'ai tâché de le revêtir d'une forme moins insolite pour plusieurs. Certains regardent les preuves basées sur l'expérience comme les plus incontestables ; il m'était facile de les satisfaire, j'ai appuyé mes démonstrations sur des faits connus et concluants. Enfin il en est d'autres qui portent le respect pour l'autorité, jusqu'à ne juger que par l'intelligence des supérieurs et à faire, à priori, mauvais accueil à tout ce qui ne vient pas d'en haut. Malgré le malheureux discrédit où est tombée aujourd'hui l'autorité, celle du père comme celle de Dieu, cette application exagérée du respect pour tous ceux qu'on croit au-dessus de soi, est plus commune qu'on ne pense. Il serait pénible, impossible même quelquefois, d'approfondir soi-même une question, et on trouve commode de se donner l'air de savoir en répétant des conclusions élaborées par un autre, derrière lequel on est fier de s'abriter. Grâce à cette confiance aux lumières d'autrui, nombre de préjugés et d'erreurs se propagent et s'accréditent. J'ai tenu compte de cette disposition de plusieurs et j'ai ajouté à mes preuves des démonstrations en rapport avec cette manière de voir. Je suis remonté des formules pratiques appliquées chaque jour dans l'administration des ponts et chaussées aux principes que supposent ces formules. Sans doute, il aurait été plus logique de descendre des principes aux formules, mais les partisans de l'autorité auraient été moins satifaits. D'ailleurs, certains de ces principes ne pourraient être établis directement que dans un traité d'hydraulique, et la démonstration en serait moins intelligible, et aurait moins de crédit que des formules adoptées, pour la pratique, par l'autorité.

Toutefois je ne me suis servi de ces formules que pour corroborer par une démonstration *ad hominem* des vérités incontestables d'ailleurs. Je suis loin d'admettre en tout certaines de ces formules, il m'a suffi qu'elles fussent vraies au point de vue et dans la limite des démonstrations que j'en ai tirées.

Quelques-uns trouveront peut-être que j'ai trop insisté sur quelques principes d'hydrodynamique : j'avoue que je ne m'y suis résigné qu'avec peine, et que je ne les ai intercalés qu'après avoir constaté la nécessité de prévenir des objections qu'il serait difficile de prévoir dans une étude adressée à tous. J'ai préféré donner au lecteur le moyen et le plaisir de résoudre lui-même ses difficultés. Je serai heureux de répondre, selon que je le pourrai, aux objections qui me seront adressées.

Cette étude est divisée en trois parties : je montrerai premièrement l'insuffisance de quelques moyens déjà proposés comme préservatifs ; j'examinerai ensuite les causes immédiates et principales des inondations, causes qui, de leur nature, vont toujours en s'aggravant ; enfin je proposerai des préservatifs véritablement pratiques, suffisants et d'une efficacité incontestable.

PREMIÈRE PARTIE.

INSUFFISANCE DE QUELQUES PRÉSERVATIFS PROPOSÉS.

§ 1. Généralités.

Si les débordements de nos rivières étaient aussi réguliers que ceux des cours d'eau alimentés par les pluies des régions tropicales, depuis longtemps des ouvrages auraient été établis pour les utiliser, ou, du moins, pour en empêcher les funestes effets. La part des eaux serait faite plus ou moins grande selon la saison et les circonstances. Il y aurait encore, sans doute, des années malheureuses comme il y en a pour l'Egypte; néanmoins les débordements pourraient généralement être regardés comme utiles, ou même nécessaires. Telle n'est pas notre situation, et je ne pense pas que les préservatifs des désastres qui accompagnent les débordements imprévus et irréguliers de nos fleuves puissent être les mêmes.

L'année dernière, c'était surtout la Garonne qui était l'objet des préoccupations générales. Cette année, c'est le tour la Seine ; bientôt peut-être le Rhône sortant de son lit renversera dans sa course torrentielle tout ce qu'il rencontrera devant lui ; ou la Loire, rompant ses digues, se répandra au loin sur de magnifiques plaines couvertes d'abondantes récoltes. Les inondations partielles des cours d'eau secondaires, pour être moins étendues, ne sont pas pour cela négligeables. Les représentants de la nation, envoyés par les différents départements, ne peuvent négliger les intérêts de leurs commettants, et la sollicitude du Président de la République est établie par des actes non équivoques. S'il est important que les remèdes adoptés soient réellement efficaces, il l'est aussi qu'ils puissent être généralisés, et qu'ils n'absorbent pas pour une seule région toutes les ressources de l'Etat. Tout préservatif qui pour être généralisé excéderait nos moyens, ou qui les absorberait pour une seule région, doit être rejeté comme n'étant pas véritablement pratique.

§ 2. Réservoirs collecteurs.

Des ingénieurs ont proposé un système de réservoirs collecteurs placés le long de la chaîne des Pyrénées et destinés à mettre en réserve la trop grande quantité des eaux qui peuvent arriver de ces montagnes à la Garonne et à l'Adour.

Un des auteurs, ou, au moins, des ardents partisans du projet, après avoir dit que toutes les études sont faites et que déjà on a mis la main à l'œuvre pour leur réalisation, s'exprime ainsi au sujet de la crue de la Garonne, le 23 juin dernier. (1)

« Dans la journée du 23, à midi, elle a commencé à s'élever » au-dessus du niveau de l'inondation de 1835 : C'est à ce » moment qu'elle est devenue réellement dangereuse. Le soir, » à dix heures, elle dépassait de deux mètres ce même » niveau, auquel est revenue le 24 à six heures du matin.

» On peut estimer que la moyenne du volume d'eau que » roulait la Garonne, du 23, à midi, au 24, à six heures du » matin, a été de 10,000 mètres cubes à la seconde, ce qui » donne pour une durée de dix-huit heures, un volume total » de 864 millions de mètres cubes. La Garonne peut porter » *sans trop causer de dommages aux riverains* 5,000 » mètres cubes par seconde, ou la moitié du volume ci-dessus » indiqué ; on voit qu'il eût suffi d'emmagasiner 432 millions » de mètres cubes pour éviter la plus grande partie des récents » désastres. »

Je suppose que les données premières de ce calcul sont plus exactes que le calcul lui-même. L'auteur, en portant à 864 millions de mètres cubes le débit de 10,000 mètres cubes par seconde en dix-huit heures, a été distrait ; ce débit est seulement 648 millions, ce qui donne pour la moitié à mettre en réserve 324 millions. 824 millions représentent le débit de vingt-quatre heures.

Conservons, néanmoins, son chiffre plus élevé, qui certainement ne l'est pas trop, car j'aime à croire qu'on ne destine pas seulement ces réservoirs à empêcher qu'il n'arrive *trop de dommages*, et qu'on n'aurait pas attendu que la Garonne roulât plus de 5,000 mètres cubes par seconde pour ouvrir

(1) Lettre de M. l'Ingénieur du Bazacle (Toulouse), insérée dans la brochure : *Les Inondations de 1875 dans le Sud-Ouest*. Paris, Lechevalier, éditeur. Cet ouvrage a eu deux éditions.

les vannes d'introduction. Qu'aurait-on fait, cependant, si une grande partie de l'eau qui avant le 23, à midi, était déjà passée à Toulouse ou même s'était rendue à l'Océan avait été mise en réserve. « Car dès le 21, selon l'éditeur de M. l'Ingé-» nieur, la Garonne commençait à charrier des débris arra-» chés à ses rives ou apportés dans son lit par ses affluents. » Or, il n'aurait pas fallu une vitesse même de 3 mètres 50 pour parcourir en deux jours les 600 kilomètres du cours de la Garonne.

L'auteur calcule ensuite l'étendue et la capacité qu'il suffirait de donner aux réservoirs pour emmagasiner la moitié de l'eau charriée, selon lui, pendant dix-huit heures.

« Supposons, dit-il, dans la montagne, un réservoir d'une » superficie de 100 hectares ou de 1 million de mètres carrés; » si l'on donne à ce réservoir une hauteur de 30 mètres, on » obtient un volume de 30 millions de mètres cubes; il fau-» drait donc 15 réservoirs semblables pour contenir l'excédant » de l'eau qui a causé l'inondation, » c'est-à-dire « trop de » dommages. »

En effet, 15 réservoirs à 30 millions de mètres cubes font 450 millions, environ 432 millions.

Comme il n'est pas d'habitude de compter par millions, tâchons par quelques comparaisons de nous faire une idée de ces magnifiques réservoirs.

La superficie du département de la Seine est de 475,500,000 mètres carrés; la capacité des réservoirs préconisés étant portée à 450 millions de mètres cubes, ils pourraient contenir assez d'eau pour en couvrir tout ce département à 94 centimètres de hauteur. Il y en aurait assez pour en distribuer dix litres par jour, pendant plus de trois ans, aux 38,067,064 habitants de la France.

La superficie réclamée pour les réservoirs est de 1,500 hectares. D'après les données précédentes, ils seraient représentés, en surface et en capacité, par un réservoir de 150 kilomètres de longueur, 100 mètres de largeur et 30 mètres de hauteur.

Toutefois cette image est au-dessous de la réalité : les réservoirs naturels que l'on veut utiliser, en les complétant, ne seront pas taillés à pic, et leur fond ne sera pas horizontal; les 30 mètres demandés ne peuvent représenter qu'une hauteur

moyenne. A moins de donner aux réservoirs une plus grande superficie, il faut leur supposer en certains points une profondeur bien plus considérable. Nous pouvons, sans exagération, admettre une hauteur de 50 mètres dans la partie la plus profonde de chaque réservoir, c'est plus que la hauteur de la colonne de la place Vendôme qui n'a que 43 mètres.

La poussée latérale que subiront, à la base, les murs de retenue, par suite du seul poids de l'eau, sera de 30,000 kilogrammes par chaque mètre carré de surface, et même de 50,000 kilogrammes, en supposant une profondeur de 50 mètres. Pour calculer l'épaisseur à donner à ces murs, on ne peut songer aux formules empyriques en usage, les expériences d'aprés lesquelles elles ont été établies sont par trop éloignées des données actuelles; il n'y aura qu'à risquer l'expérience. Pour se faire une idée de l'épaisseur nécessaire, qu'on considère celle que l'on donne aux bajoyers des écluses, aux chaussées des fleuves et autres ouvrages de cette nature, qui cependant n'ont à résister qu'à une poussée de quelques mètres ; l'*épaisseur moyenne* de la chaussée du Bazacle (1) est de 20 mètres. Qu'on tienne compte de la largeur des vallées à fermer, la fatigue croissant rapidement avec la longueur à peu près comme dans le cas d'une poutre horizontale; qu'on considère encore la vitesse avec laquelle se précipiteront dans ces réservoirs, ou plutôt dans ces abîmes, les torrents et les rochers. Je n'en pourrais donner une image plus sensible qu'en citant un passage de la Géologie de M. Beudant, membre de l'Institut. « Quand une trombe ou un violent orage vient » fondre sur une haute montagne, dit ce célèbre naturaliste (2), » en parlant de l'action actuelle des eaux, il arrive souvent » que le terrain, à moins qu'il ne présente absolument que le » roc vif, se trouve balayé et raviné à une grande profondeur. » Les fissures nombreuses dont la surface des rochers est » criblée, donnant immédiatement prise à l'action des eaux, » il se détache aussitôt une masse considérable de fragments » qui augmentent de plus en plus le pouvoir destructeur du » courant. Bientôt alors des blocs de toutes dimensions se » trouvent arrachés à la montagne, enlevés, transportés à » de grandes distances, décuplant, centuplant les effets en

(1) Les Inondations de 1875 dans le Sud-Ouest.

(2) Géologie, page 68.

» raison de leur masse et de la vitesse qu'ils acquièrent. De
» là des ravins effrayants sur des pentes jadis unies, et *une*
» *immense accumulation de débris* au pied de la mon-
» tagne et sur toute la partie du terrain où la vitesse s'est
» successivement ralentie. Les torrents gonflés par les cir-
» constances de ce genre, ou par la fonte subite des neiges,
» produisent également d'effroyables ravages. Rien de plus
» effrayant que ces cours d'eau, qu'il faut avoir vus dans les
» gorges qu'ils parcourent, et roulant quelquefois des rochers
» de 10 à 15 mètres cubes, pour s'en faire une idée exacte. »

Mais on n'a pas que des chaussées à établir, ces chaussées doivent avoir des vannes ou portes de sortie; et ces portes devront être placées au fond des réservoirs, sous peine de perdre le bénéfice de la partie située au-dessous. Elles devront être établies assez solidement pour résister au moins à la pression effrayante des eaux, pression de 4 à 5 atmosphères, c'est-à-dire celle de nos puissantes machines à vapeur. Elles devront cependant se prêter docilement à la manœuvre ; il faudra les placer de manière à ce que les terres et les rochers qui se précipiteront dans les réservoirs avec les eaux, n'en obstruent pas l'accès à celles-ci. En vérité, c'est beaucoup de prodiges, ne soyons pas surpris des sommes énormes demandées pour les frais d'établissement, étonnons-nous plutôt qu'il se soit trouvé des ingénieurs capables de faire un pareil devis; mais réservons notre admiration; car nous lisons dans la correspondance publique de l'un d'eux : « Non-seulement l'Etat a fait toutes les études, mais encore il a mis la main à l'œuvre pour leur réalisation. »

De pareils faits et dires pourraient paraître invraisemblables, c'est pourquoi je me suis cru obligé de citer; toutefois, malgré la modestie avec laquelle les ingénieurs font hommage à l'Etat de leurs faits et actes, personne ne rendra celui-ci responsable de tout ce qui peut se faire en son nom dans les temps de trouble où nous vivons. Nos gouvernants en ont assez de défendre la nation contre les anarchistes de toutes les couleurs, qui quelquefois, même avec de bonnes intentions, ne songent qu'à renverser afin de réédifier à leur manière, au risque que nous n'ayons que des ruines en attendant qu'ils se soient accordés sur le mode de reconstruction. Nous laissons nos ministres à peine assez de temps en fonctions pour qu'ils puissent se recon-

naître dans leurs bureaux ; ils sont obligés de se dépenser tout entiers pour empêcher de sombrer le vaisseau de l'Etat. Force leur est bien, pour beaucoup de questions courantes, de s'en rapporter aux monopoleurs qui depuis longtemps sont investis de la confiance publique, et savent parfaitement se passer de conseil. Toutefois n'en veuillons pas à ceux-ci s'ils disent « L'Etat c'est moi ». Lorsque des désastres arrivent, les éléments ont tort ; mais leur sagesse est toujours incontestée. Pourraient-ils ne pas se croire infaillibles ? Lorsque nos mandataires et nos ministres disparaissent de la scène, ayant à peine le temps de leur passer les millions demandés, eux sont de fait inamovibles, n'ayant en perspective que le plus ou moins d'avancement. Ne sont-ils pas en droit de se croire les plus nécessaires des hommes ? Pouvons-nous les blâmer de compter pour peu les conseils d'un public vulgaire, eux, habitués à traiter familièrement avec les ministres. Toutefois, ne maugréons pas trop, et estimons-nous heureux d'avoir eu le bon sens de ne vouloir pas improviser des savants comme nous créons des hommes d'Etat.

Aux premiers frais d'établissement, il faut ajouter ceux d'entretien qui seront aussi considérables, car ces ouvrages, tantôt sous l'eau, tantôt à sec ; ou, sous l'eau d'un côté et à sec de l'autre, se détériorent avec une rapidité exceptionnelle. En outre, il faudra en extraire constamment les détritus apportés par les torrents et les rochers qui se précipiteront des sommets des montagnes. Si l'on songe aux quantités énormes de terres et de rochers qui seront ainsi recueillies dans ces réservoirs ; à la nécessité où l'on se trouvera de les extraire constamment, si l'on ne veut perdre le bénéfice des réservoirs par l'obstruction des vannes de sortie ; si l'on fait attention que ces matériaux devront être tirés d'une grande profondeur, et qu'ils devront être transportés à des distances assez éloignées pour ne pas rendre trop difficile le transport des dépôts suivants ; si l'on tient compte enfin du personnel considérable qui sera nécessaire pour la direction, la surveillance, l'exécution des travaux, ainsi que pour la surveillance et la manœuvre des réservoirs, personnel difficile à recruter et qui devra être largement rétribué : l'ingénieur aussi bien que l'ouvrier n'étant pas, en général, assez amateur du pittoresque pour préférer la magnificence de ces sites sauvages à d'autres résidences plus confortables. En tenant

compte de toutes ces circonstances, il devient évident que si ces réservoirs pouvaient être exécutés, ils seraient des gouffres où s'abîmeraient les ressources de l'Etat.

En outre, les réservoirs collecteurs présentent un grave danger par suite de la possibilité de rupture des digues. En effet, nous avons déjà vu que ces ouvrages de retenue peuvent être ébranlés par les rochers qui se précipitent des montagnes et altérés par les passages successifs de l'humidité à la sécheresse et à la gelée. Remarquons encore que les réparations ne pourront qu'être superficielles, vu l'énorme épaissseur des digues ; que des réparations superficielles seront d'une bien faible efficacité ; que même, elles ne se feront pas toujours en temps opportun, vu la destination des réservoirs et la difficulté de surveiller convenablement des chaussées aussi étendues ; enfin que les moindres infiltrations pourront devenir très-graves, ces infiltrations opérant avec une haute pression.

Il est évident que ces ouvrages si coûteux seront minés constamment et créeront un danger dont le dénouement se manifestera au moment où les digues seront soumises à une plus forte pression, c'est-à-dire pendant les crues.

Les réservoirs collecteurs présentent un autre danger : il s'en faut que l'on puisse multiplier en sécurité au pied ou sur les flancs des montagnes d'immenses réservoirs d'eau à une pression si élevée. Les infiltrations prolongées peuvent ramolir à la longue certaines roches sédimentaires comme les sables, les argiles, les marnes, etc., et miner ainsi la montagne par la base. En Suisse, au Ruffiberg, en 1806, après une saison très-pluvieuse, 50 millions de mètres cubes se précipitèrent de la montagne dans la vallée et plusieurs villages furent ensevelis. La ville de Pleurs, dans la Valteline (Italie septentrionale), fut, en l'an 1618, ensevelie de la même manière. En 1669 une partie de la ville de Salzbourg eût un sort semblable. Enfin, pour terminer par un exemple récent, le 26 novembre dernier, à l'île de la Réunion une avalanche attribuée au ramollissement des roches sédimentaires inférieures a recouvert un plateau de 100 hectares et enseveli 62 personnes.

Enfin il me paraît difficile que ces eaux stagnantes ne nuisent pas à la salubrité et ne deviennent pas un foyer de mala-

dies endémiques. D'un côté des Pyrénées, les marécages des Landes propagent, chaque année, des fièvres paludéennes; de l'autre côté de la même chaîne de montagnes un long chapelet d'étangs se prolonge sur tout le littoral de la Méditerranée jusqu'à l'embouchure du Rhône; les exhalaisons de ces étangs produisent aussi des fièvres. Si les lacs artificiels projetés allaient compléter un cordon d'effluves malsaines se prolongeant de l'embouchure de la Gironde à celle du Rhône, ne serait-ce pas un mal dont il faudrait tenir compte? Je ne suis pas compétent pour juger de la gravité de ce danger; je me contente d'en faire mention.

A ces considérations intrinsèques s'en joignent d'autres non moins sérieuses. Les propriétaires voisins des réservoirs collecteurs trouveront peut-être qu'ils ont assez des eaux qui leur arrivent naturellement des montagnes. Il sera difficile de leur persuader qu'ils ont intérêt à ce qu'on les gratifie de celles dont on veut préserver d'autres contrées. Il n'est pas impossible que les ouvrages de captation, interprétés défavorablement, ne soient plus ou moins empêchés dans leur exécution, et que la garde n'en soit difficile dans ces gorges plus accessibles aux indigènes qu'aux étrangers.

Dira-t-on à ces voisins récalcitrants que les eaux dont on les favorise seront utilisées pour les irrigations de leurs propriétés? Dans ce but, conservera-t-on les réservoirs remplis jusqu'à la sécheresse suivante? Ce luxe d'irrigations sur des terres relativement basses ne leur sourira guère. Qui peut répondre que deux trombes ne se succèderont pas à des intervalles assez rapprochés? En présence d'un orage menaçant, et les orages ne menacent pas toujours, est-il bien certain que les voisins en péril, attendent paisiblement qu'on ait délibéré dans les filières administratives, sur l'opportunité d'ouvrir ces réservoirs toujours menaçants, vers lesquels convergent tous les cours d'eau. Sera-t-il même toujours possible d'obtenir un écoulement normal, alors que les portes seront peut-être encombrées à l'intérieur par des masses considérables de terres et de rochers.

N'allons pas nous figurer, cependant, que ces réservoirs immenses, si dispendieux et si dangereux, sont des préservatifs très-efficaces. Le lac de Genève, traversé par le Rhône, a 620 kilomètres carrés de superficie; par une élévation de 2

mètres seulement, il emmagasine, en plus, 1,240 millions de mètres cubes, c'est-à-dire 790 millions de plus que l'ensemble des réservoirs proposés pour les Pyrénées (1); le lac de Constance se comporte d'une manière semblable à l'égard du Rhin, et cependant le Rhône et le Rhin sont sujets à de terribles inondations. Cela se comprend : un réservoir, quelque vaste qu'il soit, n'est d'aucune utilité relativement aux eaux en excès qui arrivent au fleuve en aval du réservoir ; et il ne préserve de rien les riverains en amont.

En résumé, quoi qu'il en soit de l'efficacité théorique des réservoirs collecteurs proposés pour les eaux des Pyrénées, le peu d'étendue de la région dont ils doivent mettre les pluies en réserve, les dépenses énormes qu'ils supposent dans leur établissement, la presque impossibilité de leur exécution ; les sommes considérables qu'absorberait leur entretien, la juste défaveur avec laquelle ils seraient accueillis, tout se réunit pour en faire un moyen absolument impraticable. Il est encore plus impossible, qu'on me permette l'expression, d'empêcher par ce moyen les débordements de nos autres rivières. Des études, il est vrai, ont été faites dans ce sens, néanmoins je suppose qu'avant de passer à l'exécution on attendra que l'on sache précisément en quels lieux du bassin de chaque rivière éclateront les orages et les trombes. Car un réservoir placé en amont du lieu d'une trombe ne préserverait de rien ; placé en aval ils ne préserverait point les terres riveraines situées entre ce réservoir et le lieu ou l'orage a éclaté. On ne voudra pas, je suppose, creuser ou établir partout de ces réservoirs plus ou moins insalubres ; c'est-à-dire inonder en tous lieux, afin d'éloigner les inondations, et faire la part des eaux telle, que le remède soit, à tous les points de vue, pire que le mal.

Pour établir convenablement ces réservoirs il faudrait plus de perspicacité que pensait en avoir cette compagnie de sapeurs-pompiers qui avait mis dans son règlement que les pompes seraient apprêtées chaque veille d'incendie.

(1) On sait que la vitesse d'écoulement est déterminée par la hauteur de l'eau au-dessus du déversoir, et non par l'étendue superficielle du réservoir. L'étendue superficielle augmente seulement la capacité du réservoir et la durée de l'écoulement. C'est un principe dont l'application est faite journellement par le personnel des ponts et chaussées.

§ 3. Réservoirs et barrages à écoulement continu.

Napoléon III, le 19 juillet 1856, écrivait au ministre des travaux publics à la suite des inondations terribles de cette année une lettre dans laquelle, il s'exprimait ainsi :

« Avant de chercher le remède à un mal il faut bien en » étudier la cause. Or, d'où viennent les crues subites de nos » grands fleuves? Elles viennent de l'eau tombée dans les mon- » tagnes et très-peu de l'eau tombée dans les plaines.

...... « TOUT CONSISTE DONC A RETARDER L'ÉCOULEMENT DES » EAUX. Le moyen d'y parvenir est d'élever dans tous les » affluents des rivières et des fleuves, au débouché des val- » lées, partout où les cours d'eau sont encaissés, des barrages » qui laissent en leur milieu un étroit passage pour les eaux, » les retiennent lorsque leur volume augmente et forment » ainsi en amont des réservoirs qui ne se vident que lente- » ment. Il faut faire en petit ce que la nature fait en grand.

« *Ce système ne peut être efficace que s'il est géné- » ralisé, c'est-à-dire, appliqué aux plus petits affluents » des rivières.* Il sera peu coûteux si l'on multiplie les pe- » tits barrages au lieu d'en élever quelques-uns d'un grand » relief. »

Ce raisonnement pèche quelque peu par la base. L'influence des pluies autres que celles des montagnes est loin de pouvoir être négligée relativement aux inondations, comme le prouvent d'une manière trop évidente les désastres de cette année; les chroniques des anciennes inondations nous les montrent aussi le plus ordinairement accompagnées de pluies générales de longue durée. Quand à cette conclusion : « *Tout consiste à retarder l'écoulement.* Je démontrerai que *tout cousiste à faciliter l'écoulement,* à moins qu'on ne puisse agir d'une façon quelconque sur les réservoirs intérieurs des sources.

L'auteur de ce système, sans doute pour imiter la disposition naturelle des sources, ménage une étroite ouverture à ses barrages. Mais le débit augmentant avec l'élévation du niveau en amont du barrage, celui-ci retient relativement beaucoup au commencement de la crue, alors que la charge est encore faible et que la rivière pourrait recevoir davantage; il laisse, au contraire, écouler davantage lorsque la crue est

devenue plus forte. La nature est donc réellement imitée dans sa faculté d'inonder.

Sans doute, imiter la nature est louable dans certaines circonstances : ainsi, il est beau pour un artiste d'approcher, même de loin, des beautés naturelles. Mais il n'en est pas de même quand il s'agit de lutter contre les terribles effets des orages, résultat du conflit, pour ainsi dire, des grands agents de la nature. Alors l'imitation en petit ne peut suppléer à l'insuffisance des préservatifs naturels. Elle ne peut produire, au plus, qu'un secours factice et dangereux, de courte durée, comme serait la fausse monnaie, imitation de la véritable.

De plus, l'imitation est par trop défectueuse : quoique certains lacs puissent être considérés comme des réservoirs des sources, généralement les réservoirs naturels dont les sources sont les déversoirs, sont souterrains : tandis que ceux que l'on propose sont extérieurs. On fait la part de l'inondation ; mais il est faux que l'on puisse agir ici comme dans le cas d'un incendie, L'incendie ne dévore que ce qu'on lui a sacrifié ; tandis que nous ne pouvons fixer des limites à la durée et à l'abondance des pluies. Nous avons vu que la part faite peut être insuffisante, alors même que l'imitation est gigantesque au point d'être impossible, à plus forte raison le sera-t-elle si l'imitation est en petit. Alors les concessions faites n'auront servi qu'à acheter chèrement une suspension peut-être de quelques heures seulement, ou même à faire commencer le fléau plus en amont. Vainement on aura tenté de retenir les eaux dans des terrains plus élevés situés près des sources. L'inondation des campagnes, résultat de ce système, ne préservera pas les villes populeuses situées dans les basses vallées des fleuves.

Un grand nombre de petits barrages répartis « aux plus petits affluents » peut former un ensemble avantageux sous le rapport de l'économie ; néanmoins il faut aussi tenir compte de la plus grande valeur des terrains sacrifiés pour ces réservoirs moins profonds et, par suite, plus étendus. De plus, il est évident que les terrains ainsi sacrifiés seront perdus pour la production, d'où résultera une augmentation dans le prix des denrées ; il est certain encore que cette diminution de production du sol nuira à l'accroissement de la population, accroissement nécessaire cependant pour maintenir notre rang comme

nation. Ces détails passent inaperçus lorsqu'on n'étudie pas la question sous tous ses aspects. Même l'augmentation du prix des denrées sera subie par les masses qui n'en soupçonneront pas la cause, et la diminution relative d'accroissement, reconnue tardivement, pourra aussi être attribuée à une multitude d'autres causes.

Les barrages proposés, en s'éloignant par leur multiplicité et leurs dimensions des barrages d'un grand relief auxquels je me suis arrêté trop longtemps, relativement à leur utilité; pas assez, sans doute, relativement à l'autorité de leurs promoteurs, se rapprochent des barrages fixes étanches que l'on multiplie de tous côtés. Quoique l'ouverture étroite qui y est ménagée en atténue un peu les funestes effets; ce sont cependant de véritables barrages, et, sous ce rapport, ce n'est pas ici le lieu d'en parler. Une place importante leur est due dans la deuxième partie, où je traite des causes principales des inondations.

Les titres d'un auteur ne font rien à la valeur réelle de son système. Remarquons cependant, pour être justes, que l'auteur de la lettre citée au commencement de cet article avait de puissants motifs pour tenir à la popularité : il n'est pas vraisemblable qu'il se soit exposé, dans un cas aussi grave, à la critiques des hommes spéciaux. D'ailleurs, l'intérêt du pays lui faisait un devoir de consulter ceux qui ont consommé leur vie dans de semblables études. Avant de dicter ses conseils ou ses volontés à son ministre par une lettre rendue publique, il s'était évidemment pourvu, au moins de l'assentiment du corps des ingénieurs des ponts et chaussées, qui, par ce seul fait, se trouvait chargé de défendre le système. Nous avons vu dans l'introduction que ce corps, respectable par sa science, peut se résumer fatalement, plus que d'autres administrations, dans quelques-uns de ses principaux membres.

§ 4. Canalisation.

On a encore proposé de rendre toutes les rivières d'une contrée, ou au moins la plupart, pour ainsi dire solidaires aux moyen de canaux qui diviserait les eaux en excès assez promptement pour quelles ne puissent nuire. Ce système présente à peu près les mêmes impossibilités que celui des réservoirs collecteurs.

Les points de dérivation seront-ils choisis dans les parties inférieures des rivières? Les rives en amont seront alors aussi exposées aux inondations qu'aujourd'hui. Cette solidarité existe depuis longtemps, car les cours d'eau communiquent presque tous par les mers. Prendra-t-on les points de dérivation près des sources, dans les parties hautes des rivières? Tous les orages qui éclateront en aval de ces points continueront à faire sortir les rivières de leur lit. Ce système requiert donc que l'on sache préalablement en quels lieux éclateront les orages et les trombes. A défaut de cette connaissance, et même souvent malgré, il faudrait multiplier indéfiniment les canaux de dérivation; percer de tous côtés les collines et les montagnes; combler les vallées ou les franchir par des ouvrages impossibles, comme rivières suspendues ou syphons gigantesques; en un mot, couvrir la France d'un vaste réseau de canaux spacieux, chacun pouvant devenir demain le point de départ et le lieu principal de la crue. Tous ces ouvrages devraient être établis en double; car les canaux, par exemple, qui amèneraient rapidement à la Seine les eaux de la Loire, en excès, ne pourraient amener à la Loire celles de la Seine. Enfin la solidarité proposée serait loin d'être également agréable à tous: il y a des cours d'eau encore peu exposés à sortir de leur lit; leurs riverains se résigneraient difficilement à une telle communauté de périls.

§ 5. Endiguements.

Les autres moyens de captation, comme endiguements de diverses sortes, sont trop coûteux pour être généralisés. Ils sont presque indispensables, il est vrai, dans certains cas particuliers, comme lorsqu'il s'agit de préserver quelque contrée basse qui ne communique avec un cours d'eau en amont que par une vallée étroite. Mais, hors ces cas exceptionnels, le peu d'utilité des endiguements est un fait d'expérience. Depuis les anciens Etrusques on endigue le Pô, depuis l'an 819 nous endiguons la Loire. Qu'a-t-on obtenu? Le lit du Pô est en ce moment plus élevé qu'une grande partie des terres situées entre ce fleuve et l'Adige. Il continue de s'élever et chaque année on est obligé d'exhausser les digues construites sur ses rives et celles de ses affluents. A Ferrare et dans plusieurs autres villes le lit du fleuve est

à la hauteur des toitures des maisons qui ont été bâties au niveau de ses berges. La Loire n'en est pas encore là; néanmoins, chaque jour son lit s'encombre de sables et la rivière est très-fréquemment rejetée hors de ses rives. Elle présente deux faits en apparence opposés, bien que corrélatifs : des débordements très-fréquents, et, hors le temps des crues, si peu de hauteur d'eau qu'il a fallu creuser pour la navigation un canal latéral de 200 kilomètres.

Il était cependant facile de prévoir les malheurs que l'on préparait par ces digues longitudinales. Le lit de la rivière peut toujours s'élever, tandis qu'il y a des limites à l'exhaussement artificiel des berges : les digues sont coûteuses; à mesure qu'on les élève elles fatiguent davantage les premières qui leur servent de fondement; la pression de l'eau se transmettant à travers les sables augmente avec l'élévation du lit, des infiltrations qu'il est impossible de surveiller s'établissent et minent secrètement cette chaussée, seule protection de toute une contrée. Un dénoûment fatal devient imminent. C'est ainsi qu'en 1856, la Loire se fraya un passage à travers les digues par 73 ouvertures; où elles avaient résisté, les eaux se précipitaient en immenses cataractes. Et cependant, après la terrible inondation de 1846, les digues avaient été consolidées et exhaussées.

On a dû penser, sans doute, qu'en rapprochant les rives l'une de l'autre, c'est-à-dire, en concentrant le courant, on augmenterait assez la vitesse pour entraîner les sables. Mais il fallait prévoir si ces sables ne seraient pas emportés en un lieu plus nuisible, c'est-à-dire, dans les parties plus basses des fleuves où la vitesse et la déclivité sont souvent presque nulles. Il fallait au moins y songer lorsque chez nos voisins le lit s'élevait à la hauteur des toitures des maisons. En outre, le rapprochement des rives nécessaire à l'augmentation de vitesse est rendu impossible par la nécessité de conserver un lit assez vaste pour l'écoulement des crues. Ainsi, selon M. Delaunay, de l'Académie, le débit ordinaire de la Garonne est de 150 mètres cubes par seconde, et selon M. Roux, ingénieur du Bazacle, le 23 et le 24 juin il a été de 10,000 mètres cubes par seconde c'est-à-dire 66 fois plus considérable. Le lit conservé sera donc, ou insuffisant pour l'écoulement des crues, ou trop vaste pendant le reste de l'année pour empêcher les

sables de se déposer. Donc : inondations ou atterrissements, ou plutôt l'un et l'autre.

La Meuse et le Rhin, sur une partie de leur cours sont suspendus au milieu des plaines environnantes formées par le limon que ces fleuves avaient déposés avant d'être endigués. Le danger est tel, qu'avant la dernière guerre, selon notre législation, les propriétaires devaient déclarer, à la sous-préfecture, trois mois à l'avance, les coupes de bois qu'ils se proposaient de faire dans le voisinage du Rhin, jusqu'à cinq kilomètres de ses rives, et les préfets avaient le droit de requérir les coupes en en réglant le prix soit gré à gré, soit par experts. J'ignore quel est sur ce point la législation allemande ; par cette disposition la nôtre avait voulu pourvoir à ce que l'administration des ponts et chaussées eût toujours sous la main une grande quantité de bois pour les travaux de fascinage et d'endiguement. D'un jour à l'autre la Meuse et le Rhin peuvent renouveler les désastres immenses si fréquents dans les Pays-Bas, où les habitants, quoique travaillant toujours à leurs digues, ne réussissent pas toujours à se défendre contre les envahissements de la mer et des fleuves.

C'est ainsi que le Bies-boch a été produit en 1421 par une inondation de la Meuse qui en un instant a transformé 72 villages en un vaste lac. Le Rhin et la Meuse peuvent d'un jour à l'autre faire de nouvelles irruptions sur les terres au-dessus desquelles ils coulent. Si demain le Pô rompait ses digues, il abandonnerait son lit actuel et envahirait les plaines de la Lombardie. Nos ingénieurs sont trop habiles pour continuer chez nous l'application d'un système extrêmement dispendieux, mais incomparablement plus désastreux.

§ 6. Reboisement.

On se récrie de tous côtés contre le déboisement ; cependant la question est loin d'être résolue ; bien plus, l'opportunité et la possibilité du reboisement sont loin d'être établies.

Beaucoup de griefs sont apportés contre le déboisement et le défrichement : sur les terres dénudées les eaux coulent plus rapides entraînant les détritus des montagnes dans les lits des rivières ; la presque totalité des eaux de chaque orage arrive immédiatement dans les fleuves ; si ces eaux eussent été rete-

nues par les forêts et les friches, leur écoulement se serait effectué peu à peu et paisiblement.

Ces accusations ne sont pas sans fondement ; on peut encore apporter en faveur du reboisement beaucoup d'autres raisons tirées de l'influence des forêts sur les eaux de l'atmosphère. Ainsi, par exemple, le feuillage des arbres multiplie presque à l'infini les surfaces sur lesquelles se liquéfie la vapeur d'eau contenue à l'état latent dans l'atmosphère. Cette transformation, dont les effets sont plus considérables qu'on ne pense généralement, devient sensible dans les phénomènes de la rosée et du givre. La liquéfaction des vapeurs est accompagnée de courants d'air qui apportent de nouvelles vapeurs à liquéfier. Une faible partie de l'eau qui en résulte est absorbée par les plantes ; une plus grande quantité arrive jusqu'au sol. La terre végétale ordinairement améliorée par cette humidité, se recouvre chaque année d'une nouvelle couche d'humus. Bientôt couverte de verdure, abritée par le feuillage des arbres contre les rayons du soleil, elle retient ces eaux pour en former des sources et des ruisseaux créés, pour ainsi dire, par la forêt, et alimentés, par ces eaux soustraites peu à peu à l'atmosphère sans avoir passé à l'état de pluie.

Il résulte de ce fait que si une localité n'avait à son usage que des sources situées en aval de grandes forêts il pourrait être imprudent de défricher.

Si cette transformation des vapeurs et les faits qui l'accompagnent n'ont point, d'autre part, quelque influence nuisible, la présence des forêts peut, en diminuant la quantité des eaux de l'atmosphère, diminuer aussi la gravité des inondations.

Toutefois, la question est très-complexe. Ainsi, pendant qu'en 1865, M. Becquerel, résumant des statistiques, montrait à l'Académie que les orages à grêle, particulièrement ceux qu'il appelle périodiques, tendent à se diriger sur les vallées et les cours d'eau et à éviter les forêts ; M. Boudin, la même année, faisait aussi remarquer au même corps que de 1835 à 1864 le département de la Manche a été singulièrement épargné par la foudre. Or ce département est un des moins boisés. Les départements des Pyrénées qui ont tant souffert en 1875 sont, après quelques-uns du nord-est, parmi les plus boisés. Le département des Basses-Pyrénées et celui

des Hautes-Pyrénées contiennent trois de nos plus belles forêts : le premier, celle de Laruns, 12,000 hectares, et celle de Baigorry, 11,800 hectares ; le second, celle de Barousse, 9,000 hectares. Personne, toutefois, ne demandera que l'on plante de tous côtés des forêts comme celles de cette région dans l'espoir qu'elles préserveront comme paraissent l'avoir fait l'année dernière celles des Pyrénées. D'ailleurs, les six départements qui contiennent le plus de forêts sont : la Côte-d'Or (242,255 hectares), les Vosges (221,727), la Haute-Marne (211,783), la Nièvre (184,170), la Meurthe (182,225, avant 1871), la Meuse (180,759). Ces chiffres ne sont pas en faveur du reboisement.

Avec des faits isolés, on peut soutenir le pour et le contre. Il faudrait des statistiques complètes dont les auteurs fussent bien renseignés, il faudrait encore tenir compte d'une foule de circonstances locales qui influent sur l'état calorifique, hygrométrique et électrique de l'atmosphère. La question peut donc rester longtemps en litige. J'ai seulement voulu, en montrant quelques-uns de ses aspects, faire voir que beaucoup sont peut-être trop affirmatifs dans leurs déclamations contre le déboisement. Il y a plus, connaîtrait-on quelle est l'influence des forêts sur le régime des eaux, on n'aurait encore résolu qu'un côté du problème de l'utilité du reboisement.

Les productions forestières entrent pour bien peu dans l'alimentation, et leurs autres produits peuvent être remplacés en presque totalité par ceux du règne végétal. Or, l'alimentation vient en première ligne parmi les besoins matériels d'une population ; c'est une condition nécessaire de son existence. En admettant que les forêts aient une heureuse influence sur le régime des eaux, il faut encore balancer avec cet avantage leur nullité pour l'alimentation.

La population croît moins rapidement en France que dans les autres Etats de l'Europe. Notre période de doublement de la population est à peu près double de celle de ces Etats. La population croît chez nous sept fois moins vite qu'aux Etats-Unis. Aux Etats-Unis, où les habitants peuvent toujours trouver des terres libres devant eux, la population double à peu près par chaque période de 20 années, tandis qu'en suivant la progression actuelle la période de doublement serait en France de 148 ans.

Voici, d'après Moreau de Jonnès, la période de doublement de population pour d'autres Etats de l'Europe : Suisse, 97 ans ; Portugal, 97 ; Empire russe, 95 ; Wurtemberg, 91 ; Lombardie, 87 ; Hanovre, 84 ; Danemark, 83 ; Allemagne proprement dite, 78 ; Bohême, 77 ; Bavière, 77 ; Angleterre proprement dite, 77 ; Prusse, 70 ; Hesse-Cassel, 69 ; Autriche proprement dite, 68 ; Italie, 65 ; Turquie d'Europe, 64 ; Grande-Bretagne et Irlande, 62 ; Sicile, 60 ; Suède, 59 ; Mecklembourg, 59 ; Ecosse, 57 ; Espagne, 57 ; Saxe, 54 ; Empire d'Autriche, 52 ; Norwége, 52 ; Pologne, 52 ; Grèce, 51 ; Irlande, 50 ; Etats Sardes, 44 ; Gallicie, 43 ; Toscane, 43 ; Belgique, 42 ; Hongrie, 38 ; Bade, 34.

Les renseignements qu'a pu se procurer l'auteur que je cite n'ont probablement pas été établis, je suppose, d'après des principes uniformes, ses calculs peuvent donc n'être qu'approximatifs, néanmoins ils sont suffisants pour nous montrer la nécessité de nous préoccuper de l'accroissement de la population.

La question, en effet, est extrêmement grave : la population d'un Etat est sa première richesse et sa première force ; ou plutôt, c'est l'Etat lui-même ; et, lorsque les Etats voisins augmentent, la première condition de prospérité, pour ne pas dire d'existence, comme nation, est un accroissement convenable d'une population vertueuse, intelligente et forte. Un examen rapide de la question de population est donc indispensable pour juger de l'opportunité du reboisement.

Bien des causes influent sur l'accroissement de la population ; cependant on peut dire en général que cet accroissement est subordonné au bien-être que les habitants y trouvent pour eux, et y espèrent pour leurs descendants. Le bien-être, au point de vue purement moral, dépend plus de la modération dans les désirs, et, par suite, dans les besoins, que de la facilité à se procurer des jouissances. Les ambitieux sont rarement satisfaits.

A la question morale, qui ne peut trouver plaee ici malgré son importance, s'ajoute la question économique. Le bien-être ne peut se soutenir qu'à la condition que les moyens de subsistance s'accroîtront aussi. Une population plus nombreuse, si elle est active et intelligente, peut, il est vrai, faire produire davantage à la terre ; elle peut aussi créer des richesses qui de-

mandent peu du sol en étendue, et attirer les produits alimentaires des autres Etats; néanmoins, toutes choses égales d'ailleurs, les productions alimentaires du sol sont de la plus grande importance relativement à l'accroissement de population.

Nous pouvons actuellement nous expliquer pourquoi la population croît moins vite en France que dans les autres Etats de l'Europe. Nous avons encore des terres incultes, nous perfectionnons chaque jour nos moyens de culture, aussi la population peut augmenter; mais vu l'étendue restreinte des terres incultes et le haut degré de culture où nous sommes parvenus, elle ne peut plus croître aussi rapidement que dans les Etats où l'agriculture n'a pas atteint un si grand perfectionnement. C'est la pénurie relative des subsistances qui fait que les cultures alimentaires, devenant plus lucratives que les forêts, les propriétaires sont amenés à défricher. En défrichant, ils ne suivent pas seulement leur intérêt particulier, ils cèdent à un besoin manifesté par la cherté des denrées alimentaires.

La question n'est qu'effleurée; il reste néanmoins établi que nous devons augmenter autant que possible nos moyens de subsistance. Les inondations sont un terrible fléau; mais il serait grave aussi de voir notre patrie perdre chaque jour de sa puissance relative, et par suite tomber peut-être encore à la merci de ses voisins. Couvrons de forêts, lorsqu'il sera possible, les terres incultes ou d'une culture trop difficile aujourd'hui; mais ne perdons pas de vue que l'accroissement de population, subordonné à l'accroissement des moyens de subsistance est pour nous une question capitale.

De tout ce il résulte que la question de l'influence des forêts sur le régime des eaux n'est pas de nature à nous préoccuper beaucoup. Il est loin d'être démontré que l'absence d'un petit nombre nous soit nuisible, et on ne peut ni craindre, ni espérer que les déclamations contre le déboisement changeront la manière d'agir d'un seul particulier. Les ennemis les plus ardents du déboisement et du défrichement se garderont bien de transformer en forêts et en friches les cultures desquelles ils tirent des récoltes plus lucratives, et en cela, ils obéiront à un besoin de leurs compatriotes. Nous ne pouvons donc espérer trouver dans le reboisement un préservatif pratique des inondations.

L'Etat d'ailleurs donne l'exemple du reboisement dans ses domaines. Une école forestière prépare le personnel d'une administration forestière. Celle-ci veille, même aux forêts des particuliers ; elle est armée d'un code forestier assez sévère. Ainsi le particulier ne peut défricher sans permission une forêt de 4 hectares et le délinquant est passible d'une amende de 500 à 1,500 fr. par hectare de forêt défriché sans permission, et en outre, à rétablir les lieux en nature de bois. L'Etat fait donc ce qui dépend de lui pour la conservation des forêts et les particuliers ne changeront pas en bois leurs cultures plus lucratives dans l'espérance problématique de diminuer dans un avenir plus ou moins lointain la gravité des inondations.

Cet article est un peu long pour un article d'élimination. Toutefois beaucoup de personnes étant persuadées que là est toute la question, j'ai cru utile d'essayer de les désabuser.(1).

Une observation pratique avant de terminer : la plupart de nos terrains incultes non boisés ne sont pas susceptibles de l'être ; ceux qui sont dénudés se seraient en général gazonnés spontanément si leur nature l'avait permis. Si l'on veut rendre à la culture les terrains qui n'ont pas assez de terre

---

(1) Je ne voudrais pas sortir de mon sujet, qu'on me permette cependant d'émettre le vœu que les 18,000 hectares d'excellentes terres employées en France à la culture du tabac, soient employés en céréales ou autres cultures alimentaires. Selon M. de Lavergne, membre de l'Institut, nos meilleures erres peuvent produire de 40 à 50 hectolitres de céréales par hectare D'après ce chiffre 18,000 hectares produiraient précisément 840,000 hectolitres, excédant des importations sur les exportations.

Par la suppression des exhalaisons morbifiques qui ont lieu pendant les longues opérations de la dessication, les 50,000 planteurs, leurs familles et leur personnel de ferme gagneraient en santé, bien inappréciable, de quoi les dédommager pour la diminution de bénéfice pécuniaire qu'ils subiraient. La perte éprouvée par le Trésor ne serait qu'apparente; car la population augmenterait en nombre à raison de l'accroissement des subsistances, elle augmenterait aussi en intelligence et en énergie, ayant moins à profusion ce narcotique des facultés de l'âme. Je n'oserais pas dire comme F.-V. Raspail: « Ouvrier fumeur, ouvrier flâneur et jamais inventeur ; littérature fumante, littérature endormante. » Néanmoins, il serait à souhaiter que le peuple qui surtout paye cet impôt fût instruit des propriétés nuisibles du tabac, au moins pour la jeunesse. N'y aurait-il pas assez des 12 millions de kilogrammes de tabacs étrangers achetés par la régie ou les particuliers? Et encore, que cet argent serait mieux employé à encourager l'importation des substances alimentaires !

ou trop de pente pour y faire des plantations de bois capables de résister à la violence des vents, il faut que le cultivateur soit rémunéré de sa peine. Pour cela je pense qu'il peut suffire, fort souvent, d'ensemencer une fois pour toutes ces terrains de plantes aromatiques qui plaisent aux abeilles. On aurait ainsi une culture qui contribuerait à la fois à l'alimentation des populations et à l'amélioration du régime des eaux.

Le miel du mont Ida en Crête, celui du mont Pybla en Sicile, du mont Hymette en Attique, des îles Baléares, des environs de Narbonne, du Gâtinais, doivent leur renommée à l'abondance des plantes aromatiques, particulièrement des labiées, sur lesquelles butinent les abeilles. Les plantes surtout recherchées paraissent être le marubium, les menthes, le thym et le serpolet. Les apiculteurs et les botanistes pourraient étudier cette question et rechercher quelles plantes, moins difficiles, pourraient être cultivées dans ce but.

§ 7. Etudes météorologiques.

Il existe un autre moyen appelé à être d'un grand secours, mais qui demandera peut-être un temps considérable pour être apprécié autant qu'il le mérite. Je désigne les études météorologiques. Aujourd'hui, relativement aux inondations on s'y propose principalement deux choses : prévenir de l'arrivée du fléau et coordonner des faits nombreux pour faire de la météorologie une science certaine, féconde et plus complète. La connaissance, même certaine, de l'arrivée prochaine du fleau, séparée des moyens de le conjurer ne serait que d'une utilité bien médiocre. L'autre but de la météorologie me paraît plus important : nous pouvons espérer qu'une connaissance plus complète des faits nous amènera aux lois, et de là à quelque remède efficace. Après que la présente étude aura subi l'épreuve de la publicité, j'ai l'intention de proposer un autre préservatif basé sur la météorologie. Cet autre moyen me paraît efficace et d'une exécution facile. Je l'ai étudié avant ceux qui font l'objet de ce mémoire, et il remonte plus haut dans les causes du mal. Toutefois comme je crains qu'il ne soit plus contesté, je ne lui donne que le second rang. Un moyen, quelle que soit sa valeur intrinsèque, n'est véritablement pratique que s'il est de nature à être accepté. Or il est

à craindre que les déductions d'une science naissante ne soient vues d'abord avec une certaine défiance.

Je termine là cette revue de quelques moyens plus ou moins en faveur. J'ai omis de parler de plusieurs qui ne sont que des modifications de ceux-ci, et de quelques autres qui m'ont paru, ni importants, ni capables de nous entraîner à des dépenses inutiles. Il en est, sans doute, de bons que je ne connais pas; je suppose néanmoins que rien ne peut dispenser de l'emploi des principaux préservatifs que je propose aujourd'hui.

DEUXIÈME PARTIE.

CAUSES PRINCIPALES ET IMMÉDIATES DES INONDATIONS.

Généralités.

Je ne remonterai point, dans la présente étude, aux causes premières des orages : elles feront l'objet d'un prochain mémoire, dans lequel je parlerai des causes météorologiques, et des préservatifs qui s'y rapportent. D'ailleurs, il n'est pas facile d'établir si, dans nos contrées, depuis les temps historiques, les pluies sont moins régulières ou plus abondantes aujourd'hui qu'autrefois ; cette difficulté n'existerait pas si une distribution différente des pluies était la principale cause des inondations. Nous voyons bien que les récits d'inondations sont de plus en plus nombreux, à mesure que nous approchons de notre époque ; mais nous n'en devons pas conclure nécessairement à une distribution différentes des pluies : d'autres causes, malheureusement trop actives, peuvent produire des inondations de plus en plus fréquentes. Comme nous le verrons bientôt, par suite de ces causes, la régularité la plus parfaite des pluies n'empêcherait pas les eaux d'étendre de plus en plus leurs possessions, soit fluviatiles soit maritimes. Ce sont ces causes qu'il importe surtout d'étudier. Je ne revieudrai pas sur le déboisement, j'en ai déjà parlé suffisamment vu son peu d'importance pratique. J'ai aussi montré le danger de certains ouvrages de retenue, sur lesquels je ne reviendrai pas. J'ai cependant réservé, pour le placer parmi les causes, un pretendu préservatif encore en pleine faveur, quoiqu'il soit un des plus puissants agents de nos désastres.

Les causes que nous étudierons dans cette seconde partie, ne se rapportent pas seulement aux inondations fluviatiles : il devient urgent de prévenir les envahissements de l'Océan ; car plusieurs de nos départements sont en voie de passer prochainement dans son domaine. Les causes dont nous allons nous occuper se divisent commodément pour l'étude, en deux chapitres : l'un se rapporte directement aux rivières et aux fleuves,. et l'autre traite des eaux intérieures et des réservoirs des sources.

CHAPITRE Ier

COURS D'EAU EXTÉRIEURS.

§ 1. Principes d'hydrodynamique. (1)

La dépense d'une rivière s'obtient en multipliant la section (2) transversale par la vitesse. Elle est, par conséquent, proportionnelle à la section et à la vitesse.

La cause la plus immédiate des inondations est évidemment l'insuffisance de l'écoulement par le lit ordinaire des rivières. c'est-à-dire l'insuffisance de la section et de la vitesse des cours d'eau. C'est sur ces deux éléments de l'écoulement que nous porterons notre attention. Toutefois, comme la section, ainsi que nous le verrons bientôt, dépend elle-même de la vitesse, nous nous occuperons, premièrement et principalement, des causes qui produisent ou modifient la vitesse.

La pesanteur, force active, et les frottements et autres résistances passives agissent de différentes manières pour produire la vitesse effective ou réelle que nous observons. Il serait parfaitement dans notre sujet d'étudier l'action de chacune de ces différentes forces sur la vitesse. Toutefois cette étude comprendrait l'examen de certains points encore en litige; elle n'est pas d'ailleurs essentielle à la solution pratique nous cherchons, je m'en abstiens présentement afin de ne pas nuire à l'adoption des préservatifs qui nous sont indispensables.

Dans l'administration des ponts et chaussées pour calculer les dimensions à donner aux canaux de la navigation, pour évaluer la vitesse des cours d'eau, etc., on se sert ordinairement d'une formule générale donnée par de Prony. Cette formule contient deux constantes empyriques auxquelles d'autres donnent des valeurs un peu différentes de celles pro-

(1) Les lois générales de l'hydrodynamique sont vraies à l'intérieur comme à l'extérieur. Je place, néanmoins, ces principes ici, parce que les formules empyriques dont je vais parler ont été faites pour les cours d'eau extérieurs.

(2) La section est la surface d'un profil en travers selon un plan perpendiculaire au courant. La vitesse est l'espace parcouru pendant l'unité de temps. Nous compterons la vitesse en mètres et par seconde.

posées par de Prony. A cette modification près, qui ne touche en rien aux fonctions des variables, lesquelles seules nous importent ici, tous admettent dans la pratique les relations de la formule de Prony.

Voici cette formule ramenée à la forme qu'elle revêt lorsqu'il s'agit de calculer la vitesse des cours d'eau.

$v = 56,86\sqrt{RI} - 0,072$;

$v =$ vitesse moyenne en mètres et par seconde;

$I =$ déclivité par mètre, ou sinus de l'angle d'inclinaison.

$R =$ quotient de la section divisée par le périmètre mouillé (1).

Ce rapport R prend le nom de rayon moyen ou hauteur hydraulique; il égale la hauteur d'une section de même grandeur dans un canal rectangulaire fictif dont la largeur égalerait le périmètre mouillé de la section donnée. (2).

Si l'on appelle S la section, et P le périmètre mouillé, on aura :

$$v = 56,86 \times \sqrt{\frac{S}{P}} \quad \sqrt{I.}$$

D'où résultent les conclusions suivantes :

---

(1) On nomme périmètre mouillé, le périmètre de la section diminué de la largeur de la rivière. C'est l'intersection du profil en travers avec les parois du lit de la rivière. Il augmente lorsque, toutes choses égales d'ailleurs, la rivière s'élargit.

(2) Les relations données par de Prony sont celles-ci :

$$RI = av + bv^2 = 0,000\,0444v + 0,000\,309v^2.$$

D'où l'on tire $v = \sqrt{0,005\,163 + 3\,233,428 \times RI} - 0,07185.$

En négligeant le premier terme du radical comme très-petit par rapport au second et en supprimant les dernières décimales, on obtient

$$v = 56,86\sqrt{RI} - 0,072.$$

De Prony a déterminé ses constantes par la discussion de 31 expériences de Dubuat. Eytelwein se basant en outre sur 91 expériences de Brünings, Wottman et Funk a donné aux constantes a et b des valeurs un peu différentes. Les vitesses obtenues avec la formule ainsi modifiée représentent moins bien les expériences de Dubuat et même pour une vingtaine de cas s'écartent d'une manière notable des expériences discutées par Eytelwein lui-même. La différence va jusqu'à 0,29, c'est-à-dire plus du quart. Pour les grands cours d'eau la modificatiou d'Eytelwein est préférable. La nécessité de modifier les prétendues constantes ne démontre pas l'exactitude des fonctions qu'on leur attribue. J'espère avoir l'occasion de proposer une formule qui me paraît préférable. Je me sers présentement de celle-ci qui est vraie quant aux conclusions *générales* que j'en veux tirer.

1° La vitesse est proportionnelle à la racine carrée de la section ;

2° Elle est aussi proportionnelle à la racine carrée de la déclivité ;

3° Enfin, elle est inversement proportionnelle à la racine carrée du périmètre mouillé.

Ou plus simplement : *La vitesse augmente avec la déclivité ; elle augmente aussi avec la profondeur du courant ; elle diminue lorsque, toutes choses égales d'ailleurs, le courant s'élargit.*

Ces dernières conclusions sont incontestables et incontestées.

Ces principes préliminaires admis, nous pouvons passer à l'étude des causes qui modiefint la vitesse et le débit des cours d'eau.

§ 2. Disposition générale du lit des rivières et des fleuves.

Les rivières et les fleuves transportent constamment des détritus provenant, soit des montagnes qui souvent avoisinent leurs sources, soit des terrains qu'elles traversent. Les gros galets se déposent les premiers, les sables sont emportés plus loin. Les dépôts sont repris à chaque crue, par suite de l'augmentation de vitesse; ils sont entraînés plus loin et abandonnés principalement aux lieux où la vitesse est moindre. Qu'on ne croie point, toutefois, que le résultat de cette succession séculaire de dépôts et de remaniements soit l'établissement d'une pente uniforme. Il n'en est rien : les changements brusques de déclivité disparaissent, il est vrai ; mais, à mesure qu'on approche de l'embouchure du fleuve, la déclivité disparaît aussi, et la profondeur du lit s'efface, quoique le fleuve coule sur les alluvions très-mobiles, dont à différentes époques, il a couvert tout le terrain, souvent fort au loin, de chaque côté de ses rives.

Il y a plus, à l'embouchure, le lit du fleuve se relève presque toujours pour former une barre qui s'oppose, plus ou moins, à l'écoulement, et exhausse le niveau des eaux souvent à une grande distance en amont. Ainsi, par exemple, pour une déclivité de 0m 0002, une barre de 1 mètre de hauteur atteint le niveau du fond à la hauteur de 5 kilomètres en amont, et diminue la déclivité du courant à une distance bien plus

grande. Alors, cependant, les eaux du fleuve sont grossies de celles des affluents, il faut qu'èlles s'écoulent ; pour peu que la fonte des neiges, une trombe, ou des pluies un peu continues viennent y ajouter, elles s'écoulent par-dessus les rives. Voyons les causes de cette disparition de la déclivité, et de la profondeur du courant, afin d'en découvrir aussi les remèdes.

§ 3. **Barres de l'embouchure du fleuve.**

Vers l'embouchure des fleuves, lorsque la mer a des marées, elle pénètre dans le fleuve et en fait remonter les eaux. Deux courants de sens contraire sont en présence qui, tous deux, peuvent apporter des sables. Pendant la marée montante, le choc des deux courants détruisant la vitesse, les alluvions se déposent. Les dépôts déjà formés agissent à leur tour comme un barrage, diminuent aussi la vitesse, provoquent de nouveaux dépôts et retiennent en amont, dans le fleuve, les alluvions qu'il apporte.

Lorsque la mer n'a point de marées sensibles, ses effets sont moins pernicieux ; mais, quoiqu'elle ne remonte point dans le lit du fleuve, elle est néanmoins à l'embouchure un obstacle qui diminue la vitesse, et précipite les dépôts en un point déterminé par leur masse combinée avec la vitesse du courant. Les alluvions détachées, entraînées, reprises et emportées sans cesse vers l'embouchure, gagnent sans cesse du terrain ; mais elles ne dépassent point, si elles l'atteignent, le lieu où la vitesse de la rivière est détruite.

Le mal le plus redoutable n'est point dans ces trombes passagères qui portent au loin la ruine et la mort. Ce qu'il faut à tout prix conjurer, et qui rend inutile tous nos ouvrages de défense, c'est ce travail incessant des eaux qui transforme les roches des montagnes et des collines. ainsi que les terres meubles des plaines, en alluvions, qui obstruent chaque jour davantage l'embouchure des fleuves, encombrent leur lit, détruisent la déclivité et la vitesse des eaux qui, bientôt, à chaque orage, se répandront sur les terres riveraines.

On me pardonnera d'insister : les atterrissements de l'embouchure sont d'une extrême gravité. La vitesse d'écoulement ne peut être détruite, ou presque détruite, en un point qu'elle ne soit ralentie souvent fort loin en amont de ce point. Faute

d'une vitesse suffisante à les emporter, les sables se déposent, provoquent de nouveaux dépôts plus en amont, et élèvent sans cesse le lit de la rivière qui, chaque jour, se rapproche du niveau des berges. Il y a plus, ces dépôts en amont ne sont pas perdus pour la barre de l'embouchure; ils lui sont bientôt rendus avec usure, comme il est facile de s'en convaincre.

En effet, il faut que l'écoulement ait lieu. Or, le débit égale le produit de la section multipliée par la vitesse. Par conséquent, si la vitesse restait la même, la section transversale reprendrait immédiatement en hauteur, et bientôt après, en largeur, tout ce que les dépôts lui ont fait perdre en profondeur.. Mais l'exhaussement du fond ayant pour conséquence une diminution de déclivité et aussi de vitesse, la section augmente nécessairement, c'est-à-dire que le courant enlève presque immédiatement aux rives, ordinairement plus faciles à désagréger, plus qu'il n'a déposé sur le fond. La barre de l'embouchure augmente donc nécessairement lorsqu'une diminution de vitesse provoque en amont le dépôt des alluvions. *Si les alluvions n'eussent été retenues dans le lit du fleuve, elles se seraient ajoutées à la barre de l'embouchure. Retenues dans le lit du fleuve, elles sont remplacées à la barre de l'embouchure par des alluvions encore plus considérables, enlevées aux rives. Ces divers exhaussements du fond réagissant à leur tour sur la vitesse et les dépôts supérieurs, c'est par une progression rapide que les inondations doivent augmenter.*

Il ne faut pas même en excepter le cas, assez rare, où les rives sont très-difficiles à dégrader, comme lorsqu'elles sont de roches dures ou de bonne maçonnerie. Alors, en effet, le niveau s'élève au lieu même du dépôt de manière que la section gagne par le haut plus qu'elle n'a perdu vers le fond, et cette élévation de niveau de l'eau constitue une barre pour les parties plus en amont. C'est là que les rives seront entamées à moins qu'elles ne soient inattaquables jusqu'à la source de la rivière ou, au moins, jusqu'au bief supérieur, si la rivière est divisée par des barrages.

Qu'on n'objecte point à l'évidence de ce raisonnement que si les choses se passaient ainsi, les inondations seraient bien plus fréquentes. Tant qu'une rivière a conservé une vitesse capable de dégrader son lit, les dépôts n'ont pu s'y former,

les alluvions ont été transportées à l'embouchure ou au confluent. Il en est de même lorsque, dépourvue de cette vitesse pendant les basses eaux, la rivière a eu pendant les crues une vitesse suffisante pour enlever alors les dépôts formés précédemment.

Mais à partir du jour où, par suite la barre de l'embouchure ou pour toute autre cause, l'absence de vitesse permet la formation de dépôts que les crues suivantes sont impuissantes à enlever, ces dépôts ne cessent d'augmenter, et, par leur accroissement, d'en provoquer d'autres. Si l'on ne restitue aux fleuves une vitesse suffisante, les atterrissements augmenteront jusqu'à ce que le fond ait été amené au niveau des terres riveraines et même au-dessus, si l'on veut, par des digues, empêcher les eaux de s'étendre indéfiniment en largeur,ou la rivière de changer constamment de lit. Près de leurs sources, nos fleuves, et un certain nombre de leurs affluents,ont encore assez de déclivité pour s'y défendre contre les atterrissements; mais ils emportent leurs alluvions dans la partie principale de leur cours qui perd chaque jour, avec sa faible déclivité, la hauteur, déjà bien minime, de ses berges. Si l'on n'y remédie, nous arriverons nécessairement à un terme fatal, moins éloigné qu'on ne pense, où le lit actuel sera complètement comblé, et où la rivière sera remplacée par de vastes marais insalubres.

Vers la fin de la république romaine, les eaux de Garigliano, petit fleuve de 60 kilomètres, et de ses affluents, ont envahi les terres riveraines et formé les marais Pontins, que l'on a tant de fois essayé d'assainir. Ces marais ont environ 40 kilomètres de longueur sur 10 de largeur. Le pays qu'ils occupent était autrefois si salubre que 23 villes y florissaient. Maintenant, de juin à septembre, leurs effluves pernicieuses transportées par les vents, sont une cause de fièvres intermittentes pour les environs.

C'est une image en petit de ce qui, dans un avenir qui n'est pas très-éloigné, arrivera infailliblement à nos plus belles provinces. La Loire, sur la plus grande partie de son cours, de 1,000 kilomètres environ, est bien moins rassurante que ne l'était le Garigliano, sous la République romaine. Comment traiter désormais les digues longitudinales entre lesquelles il est impossible de la contenir. Evidemment, on ne peut les

supprimer : ce serait l'inondation immédiate. Cependant les conserver, c'est se mettre dans la nécessité de les élever sans cesse avec la prévision permanente de voir les eaux les rompre ou passer par-dessus. Instruisons-nous donc au moins par nos fautes et celles de nos voisins. Que faudrait-il pour que le Pô envahit les plaines de la Lombardie et abandonnât son lit actuel ? Il suffirait d'une brêche comme il s'en est produit de si nombreuses aux digues de la Loire. On y aurait alors d'autres marais Pontins, ou, encore, un lac comme le Bies-boch, qu'une inondation de la Meuse a formé en un lieu occupé précédemment par 72 villages. Mais qu'est-il besoin de chercher des exemples chez nos voisins, alors que nous avons encore sous les yeux tant de ruines. Il est vrai, les inondations n'ont été chez nous que temporaires ; mais la difficulté avec laquelle la Garonne est revenue dans son ancien lit, qu'en plusieurs endroits elle n'a pu retrouver, montre assez ce qu'elle réserve à ses riverains, si nous laissons s'accumuler davantage les détritus apportés sans cesse par le fleuve et ses affluents.

Chacun de nos fleuves a sa barre de l'embouchure qui se présente avec des caractères particuliers. La barre de la Loire impose déjà au commerce de Nantes la nécessité d'alléger les navires de la presque totalité de leur charge, sur un parcours d'environ 35 kilomètres. Des bargiers font sur des barques légères, le transport des marchandises entre Nantes et Paimbœuf ou St-Nazaire. La barre de la Seine est de vase ; elle laisse un passage très-mobile qu'il faut chercher par des sondages presque continuels. Elle est placée à Quillebœuf, à dix lieues en amont de l'embouchure du fleuve. Celle de la Gironde est située en pleine mer, en deçà du rocher de Cordouan. En outre de la barre de Cordouan, des atterrissements se forment dans le large canal de la Gironde, et les paquebots transatlantiques arrêtés par les bancs de sable, sont contraints de s'arrêter à Pauillac, et ne remontent jusqu'à Bordeaux qu'après avoir été allégés d'une partie de leur chargement. La barre du Rhône est de sable mêlé de galets, comme celle de Cordouan. Ces barres, augmentant sans cesse, finiront par s'élever au-dessus du niveau de la mer. L'Oder, la Vistule, le Niémen, le Dniéper, le Dniester ont des barres trop hautes pour être ordinairement submergées.

§ 4. Barres d'eau ou Mascaret.

Un phénomène fort curieux, non encore complètement expliqué, se produit en amont de l'embouchure de certains fleuves immédiatement avant la marée montante. Il consiste en une ondulation particulière de deux ou trois lames successives qui barrent transversalement le lit du fleuve. Ces barres d'eau portent, sur l'océan Atlantique, le nom de Mascaret. Aux marées équinoxiales et aux marées de la nouvelle et de la pleine lune la barre qui se forme à l'embouchure de la Seine est telle, que les flots de la marée montante s'élèvent à la hauteur de Quillebœuf, et refoulent les eaux du fleuve qui remontent en diminuant de vitesse jusqu'à Rouen. Là elles ont encore quelquefois assez de force pour que les navires placés trop près les uns des autres se fassent mutuellement des avaries.

La barre d'eau de la Gironde n'offre pas d'effet bien remarquable jusqu'au Bec-d'Ambez ; mais à son entrée dans la Dordogne, à 75 kilomètres de l'embouchure du fleuve, sa force est si considérable qu'elle fracasse les bateaux que l'on n'a pas eu soin de placer au milieu de la rivière. Le bruit de cette barre est entendu à plus de 12 kilomètres.

Ces barres ne sont pas comparables à celles qui se produisent sur les grands fleuves de l'Amérique. Dans la saison des grandes eaux et des grandes marées la barre de l'Amazone s'élève jusqu'à 60 mètres de hauteur.

Evidemment, il est important de connaître qu'elle force soulève ainsi une pareille colonne liquide et la soutient contrairement aux lois ordinaires de l'hydrostatique. Bien que je n'aie pas été témoin du phénomème, je crois pouvoir en donner une explication, après avoir prévenu, cependant, que les remèdes que je proposerai pour ces barres sont indépendants de l'explication que je donne du phénomène.

Lorsque deux rivières, ou courants liquides, de sens contraires ou de vitesses différentes, se rencontrent, il se forme des tourbillons, ou gouffres, plus ou ou moins rapides dont quelques-uns sont célèbres. Les molécules liquides poussées successivement par les deux courants, prennent un mouvement de rotation plus rapide que les courants générateurs ; car ceux-ci, en passant, cèdent sans cesse au tourbillon une

une partie de leur force vive. Les résistances qu'éprouve celui-ci dans le liquide sont peu considérables et permettent une certaine accumulation de force aux dépens des courants générateurs. Toutefois les résistances passives croissant avec la vitesse du tourbillon, celle-ci ne peut croître indéfiniment : bientôt elle perd autant qu'elle reçoit, et il s'établit un certain régime qui ne varie qu'avec la vitesse des deux courants.

La même chose se produit dans le Mascaret : deux courants contraires sont en présence : celui du fleuve et celui de la marée ; mais, parce qu'ils sont superposés horizontalement au lieu de couler latéralement, l'axe du tourbillon est horizontal. Ce tourbillon, réduit d'abord aux molécules qui en forment l'axe, s'empare dans son mouvement de rotation des molécules voisines ; il grossit de plus en plus à mesure qu'il reçoit de nouvelles impulsions de la part de ses courants générateurs, ou du moins de l'un d'eux. Il roule, et, en les entamant, avance dans le sens du plus fort, qui, pour nos fleuves, est celui de la marée. Ce tourbillon, quelquefois suivi de deux ou trois autres moindres, dans son mouvement de rotation marche, à la tête de la marée ; car celle-ci à mesure qu'elle avance absorbe le courant du fleuve et fait disparaître les éléments nécessaires à la formation régulière du tourbillon. Celui-ci, en remontant le fleuve, emmagasine dans ses flancs de nouvelles quantités d'eau qu'il conserve en vertu de la force d'adhésion des molécules liquides, et de la persistance des corps à garder le mouvement une fois reçu. Il grossit ainsi comme une boule, ou plutôt, comme un cylindre de neige, il absorbe les courants générateurs qui finissent par s'éteindre ; celui du fleuve, arrêté par celui de la marée ; et celui de la marée, par l'élévation de niveau du lit du fleuve (1). Le tourbillon sort des conditions nécessaires à son existence ; il disparaît.

Cetté théorie me paraît naturelle et conforme aux faits

(1) En haute mer la marée n'est pas un courant véritable, mais une simple élévation de niveau. Cette élévation de niveau produit, à l'approche des terres, un déversement qui prend la forme d'un courant qui s'avance de la mer sur les terres. Ce courant se modifie, d'ailleurs, par diverses circonstances locales.

connus ; je regrette que, ne connaissant le phénomène que par description, je ne puisse la préciser davantage.

D'après cette théorie, il est facile de comprendre pourquoi le Mascaret a plus de force en amont du Bec-d'Ambez que dans la Gironde. La largeur de la Gironde va jusqu'à 15 kilomètres, tandis qu'à son entrée, entre la pointe de Coudre et la pointe de Graves elle n'est que de 6 ou 7 kilomètres. Les eaux de la marée qui ont pénétré par cette ouverture, relativement étroite, se répandant immédiatement sur un espace beaucoup plus large y conservent peu de vitesse jusqu'au lieu où elles sont de nouveau resserrées, et, surtout, où elles se déversent dans les flots rapides de la Dordogne.

Il est évident que ces barres d'eau contribuent aussi à l'ensablement aux lieux où il importe le plus que les passages soient faciles et spacieux. De plus, la coïncidence des crues avec les barres des équinoxes et des syzygies peut avoir les suites les plus graves. Nous aurons donc à remédier à ces barres liquides.

§ 5. Introduction des eaux de la marée dans le lit des fleuves.

Le niveau de l'Océan oscille de manière à produire deux *hautes mers* ou *pleines mers* dans l'intervalle de 24 heures 50 minutes 1/2, de sorte qu'il s'écoule environ 12 heures entre deux hautes mers. La marée basse ne tient pas le milieu entre deux hautes mers, parce que les eaux mettent plus de temps à descendre qu'à monter.

L'amplitude de ces oscillations de niveau varie avec les lieux et les temps ; elle varie aussi par suite de circonstances accidentelles. Sur nos côtes, les grandes marées ont lieu environ un jour et demi après les syzygies, ou nouvelles et pleines lunes.

J'extrais de l'Annuaire du Bureau des Longitudes, la hauteur des grandes marées au-dessus de la mer moyenne dans quelques-uns de nos ports. Les nombres de ce tableau ont été déduits d'un grand nombre d'observations de hautes et basses mers équinoxiales. Pour avoir la différence entre la haute et la basse mer, il faut doubler les nombres du tableau. Ainsi, au Havre, embouchure de la Seine, cette différence est de 7^m14, double de 3^m57 ; à Cordouan ou à Royan, embou-

chure de la Gironde, elle est de 4m78. Toutefois les hautes marées ne sont pas égales : leur hauteur varie selon la position relative de la Terre, de la Lune et du Soleil. L'Annuaire publie chaque année le coefficient par lequel il faut multiplier les nombres du tableau général pour avoir la hauteur d'une haute marée en particulier. La hauteur des marées des syzygies résultant de la multiplication s'éloigne des nombres du tableau environ d'un dixième en plus, ou de trois dixièmes en moins.

Entrée de l'Adour............	1m40
Arcachon.....................	1 95
Cordouan.....................	2 35
Saint-Nazaire (Loire)..........	2 68
Granville.....................	6 15
Entrée de l'Orne..............	3 65
Le Havre.....................	3 57
Cayeux (Somme)..............	4 58

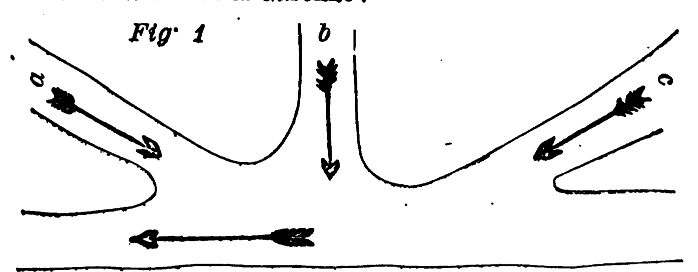
Il est évident que ces oscillations dans le niveau de l'Océan produisent de grandes variations dans la déclivité des fleuves. Pendant la marée haute, non seulement, les eaux du fleuve sont arrêtées, mais celles de la mer remontent. dans le fleuve à une grande distance de l'embouchure. Nous avons déjà vu (p. 34) combien peut être funeste une faible élévation de niveau à l'embouchure.

Une crue n'est jamais de si courte durée qu'elle ne coïncide avec une pleine mer ordinaire ; mais les hautes marées des syzygies ayant lieu deux fois par mois, il peut aussi arriver fréquemment qu'elles viennent ajouter leurs eaux à celles de la crue du fleuve dont elles empêchent l'écoulement. Il est évident qu'il importe de remédier autant que possible a cette circonstance aggravante des inondations.

§ 6. **Barres des Confluents.**

Il se produit souvent, aux confluents des rivières, des atterrissements qui représentent en petit ceux de l'embouchure des fleuves. Ce phénomène a surtout lieu lorsque les rivières se barrent le passage, par suite de la disposition de l'angle de rencontre comme pour l'affluent *a* ou l'affluent *b* (*fig. 1*), ou lorsque leurs vitesses sont très-différentes. Il est évident que toute cause qui détruira la vitesse déterminera le dépôt des

alluvions et qu'une barre se formera, à moins que les eaux ne soient limpides, ou que pendant les crues, la vitesse ne soit suffisante pour enlever les dépôts antérieurs. Que de projets n'a-t-on pas fait, par exemple, pour rendre navigable le confluent du Lot et de la Garonne ?



Non-seulement la vitesse peut être détruite, mais même, quelquefois, elle peut changer momentanément de sens. Ainsi lorsque l'Arve est tout à coup grosie par un orage, ou par la fonte des neiges, le Rhône remonte vers le lac de Genève et fait tourner en sens inverse les roues des moulins (1). La disposition du confluent qui prête le moins à la formation d'atterrissement est celle de l'affluent *c (Fig. 1)*. Cette disposition est heureusement la plus ordinaire. Néanmoins lorsque la déclivité est faible, et que les variations de débit sont considérables, il peut alors se former un élargissement qui peut produire une barre.

Il est évident que les barres des confluents contribuent aussi aux inondations. J'indiquerai le moyen d'en empêcher la formation et d'obliger les rivières à détruire celles qui existent.

§ 7. **Elargissements du lit des Rivières.**

Un cours d'eau peut, sans augmenter son debit, s'élargir de plusieurs manières. Lorsqu'il rencontre une vaste et profonde dépression du sol, il la remplit et s'étend en lac. Ce mode d'élargissement diminue souvent la gravité des inondations. D'abord, le lac ainsi formé peut, au moment de l'inondation,

---

(1) Je ne cite ce fait que pour montrer l'action des affluents sur la vitesse. Je ne pense pas que le confluent de l'Arve et du Rhône ait une barre ; l'Arve est ordinairement très-rapide et le Rhône très-limpide à sa sortie du lac de Genève.

emmagasiner un volume d'eau considérable qu'il déverse ensuite peu à peu. De plus, l'élargissement en lac produit une augmentation de section active, une diminution de vitesse, et par suite, l'abandon des alluvions en lieu inoffensif.

Toutefois les élargissements ne se comportent pas toujours ainsi. Lorsque le fond du lac s'est élevé à la hauteur de celui de la rivière, l'élargissement continue de précipiter les alluvions, d'exhausser le fond et de préparer les inondations. C'est ainsi que plusieurs lacs ont été comblés sur le cours du Pô; néanmoins, ce fleuve coule aujourd'hui suspendu entre ses digues, à une grande hauteur au-dessus des terres voisines.

Les élargissements peuvent encore être produits par une diminution de déclivité. C'est alors un mal dont le dénouement, plus ou moins éloigné, mais certain, à moins de préservatifs véritables, est la transformation des vallées en marais qui iront s'agrandissant chaque jour par le nivellement du terrain.

On trouvera, peut-être, que je reviens souvent sur ces marais; c'est qu'en effet les exemples sont nombreux et le danger assez imminent pour qu'il importe de ne rien négliger. Qu'on me permette donc de citer rapidement en Amérique : les marais du Missisipi, de l'Orénoque, du fleuve des Amazones, de Paraguay, etc, qui sous divers noms recouvrent des pays immmenses; en Asie : ceux de l'Euphrate et des fleuves de la Sibérie; en Europe: ceux des fleuves de la Russie, de la Hollande, de la Westphalie, les marais Pontins, etc. En France, nous ne sommes encore sous ce rapport que médiocrement maltraités par nos rivières. Nous avons cependant des marais d'une certaine étendue : je ne mentionnerai que ceux de la Sologne occupant une étendue de 17,000 hectares et ceux des départements de la Loire-Inférieure, des Landes et de la Gironde. Nos ingénieurs ont tenté avec plus ou moins de succès d'en dessécher plusieurs comme ceux de la Sologne, du lac de Grand-Lieu. Ce dernier, de 3,900 hectares, desséché en 1860, était autrefois une vallée délicieuse transformée en lac par une inondation de la Loire, dans le sixième siècle.

Toutefois ces conquêtes coûteuses ne peuvent inspirer qu'une sécurité médiocre. Ainsi, par exemple, les digues qui longeaient la Gironde sur une étendue de 25 kilomètres, ont été rompues, l'année dernière, par les tempêtes d'octobre et de novembre, et les riches Polders du Bas-Médoc sont inondés.

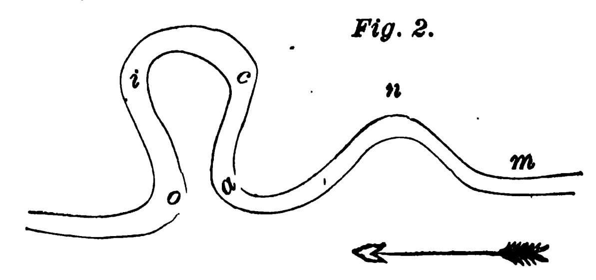
§ 8. Sinuosités du lit des rivières et des fleuves.

Quelques-uns pensent que les sinuosités diminuent la gravité des inondations en augmentant la capacité du lit des rivières. C'est une grave erreur, elles permettent, il est vrai, d'emmagasiner, en plus, une certaine quantité d'eau et fonctionnent comme un réservoir continu ; mais cet avantage est très-minime, tandis que les inconvénients qui résultent des sinuosités sont extrêmement graves.

En effet, les détours rendent rarement 4 ou 5 fois plus grande la capacité du lit d'une rivière, tandis que les crues peuvent fournir 50 fois plus d'eau et même davantage (p. 22). La mise en réserve est donc réellement insignifiante.

Mais ce qui ne l'est pas, c'est la diminution de vitesse, la déclivité est en raison inverse de la longueur du courant. Sans les méandres, le trajet de la source à la mer aurait été plus court et la vitesse plus considérable, pour ces deux raisons réunies, une plus grande quantité d'eau serait arrivée à la mer, réservoir commun, avant d'avoir pu nuire. Les eaux retenues dans un lit presque sans déclivité ont eu le temps de s'accumuler, attendu que celles déjà arrivées, et non encore écoulées, ont formé obstacle à l'écoulement des suivantes.

Fig. 2.



Il y a plus, comme nous l'avons vu, les atterrissements sont la suite nécessaire de la diminution de vitesse ; les sinuosités ont donc encore pour résultat constant la disparition progressive du lit des rivières, c'est-à-dire les inondations habituelles.

Il arrive même souvent que certaines parties de la rivière se trouvent avoir une vitesse presque nulle comme il arrive dans le détour *a c i o* (fig. 2) où la différeuce de niveau des points *a* et *o* est répartie sur tout le parcours du circuit,

même quelquefois la rivière revient, en quelque sorte en arrière, comme dans la partie *a c*, alors le fond peut se trouver sensiblement horizontal, et la rivière peut n'avoir, dans cette partie, d'autre déclivité que celle qu'elle se créera elle-même par l'accumulation des eaux en *a*. Une barre de sable se forme nécessairement de *a* en *c*. S'il n'y a pas de saillie apparente du fond, c'est que le même fait s'est produit en plusieurs points assez rapprochés et que des sables apportés pendant les crnes ont rempli les intervalles.

Les méandres ont encore un au tre fâcheux résultat; une fois commencés, ils continuent, pour l'ordinaire, de s'augmenter.

En effet le courant qui arrive de *m* en *n* (fig. 2) vient frapper la rive concave. Cette rive se dégrade et fournit des alluvions qui ne sont pas em portées très-loin. La diminntion de vitesse produite par le coude nécessite, d'ordinaire, un certain élargissement en *n*; mais cet élargissement obtenu, les sables pourront se déposer contre la rive convexe à mesure que les empiétements continueront du côté de la rive concave.

Les méandres sont plus ordinairement placés dans les parties inférieuresdes fleuves. L'obstacle qu'ils mettent à l'écoulement rappelle celui qu'une différence de température produit aux fleuves de la Sibérie. Ces fleuves coulent dans la direction du sud au nord. Ils sont souvent gelés seulement dans la partie inférieure de leur cours. Alors les eaux qui arrivent d'amont ne trouvant pas d'écoulement régulier suffisant, le pays est inondé sur une immense étendue.

Nous verrons dans la 3e partie comment on peut arrêter les progrès de ces méandres et obtenir des rivières qu'elles rectifient elles-mèmes leurs errements.

§. 9. **Barrages artificiels.**

Les barres naturelles solides ou liquides ne sont pas les seules que nous ayons à redouter: l'exhaussement du lit des rivières est encore le résultat nécessaire des barrages fixes artificiels que l'on multiplie chaque année, à grands frais, pour les besoins de la navigation et de l'industrie.

Ces barrages sont établis ordinairement en bonne maçonnerie, à chaux hydraulique et ciment; ils sont rendus aussi étanches que possibles. Si l'on continue, bientôt les moindres affluents en seront favorisés. N'est-il pas juste que chacun

ait sa part des inondations ? Malheureusement comme nous l'avons démontré (p. 36) la part faite aux riverains supérieurs par suite de l'exhaussement du fond des rivières ne diminue en rien celle des riverains inférieurs. Bientôt chaque orage inondera les riverains supérieurs ; mais chaque inondation partielle apportera dans les parties inférieures et principales des fleuves un plus grand tribut d'alluvions ; le lit du fleuve s'y enrichira des dépouilles de tout le bassin et les inondations y seront la somme de celles des affluents.

Chaque barrage porte une écluse à sac pour racheter la différence de niveau ; des usines utilisent la chute. Un ingénieur recueille ainsi la gloire d'avoir rendu un cours d'eau navigable et d'avoir contribué au développement de l'industrie. Cette gloire coûtera cher aux riverains et à la nation. Le barrage supprimant immédiatement plusieurs mètres de la profondeur active du lit de la rivière, c'est autant en plus pour les inondations. Aussi les débordements des rivières munies de barrages sont-ils très-fréquents ? Chaque propriétaire se contente encore de gémir sur une situation qu'il se croit obligé de subir ; mais le mal augmentant sans cesse, comme je vais le démontrer, il faudra bien, forcément, que l'on cesse de prodiguer les fonds de la nation pour rejeter les eaux sur les terres riveraines. Il sera tard, le fond des rivières étant alors partout exhaussé, il n'y aura pas assez d'eau pour la navigation et cependant les inondations succéderont aux inondations.

Il est des choses pénibles à dire, mais nous ne pouvons remédier au mal sans en rechercher les causes. Il s'agit d'intérêts généraux les plus graves : les personnalités s'effacent. D'ailleurs, les ingénieurs chargés du régime des cours d'eau ne peuvent être incriminés parce qu'ils n'ont pas prévu tout ce qu'on pourra réaliser dans la suite.

D'après les informations que j'ai prises, il est prescrit aux usiniers de régler et de modérer leur dépense pendant les eaux basses de manière que le niveau ne descende pas au-dessous de la crête du barrage, c'est-à-dire de manière que les égoûts des villes restent autant que possible dans le bief qui les a reçus, les eaux dussent-elles être puisées pour l'alimentation des habitants, après que le développement des germes morbifiques qu'elles renferment a été développé par un séjour tranquille aux rayons du soleil d'été.

Sans doute, ce n'est pas là ce que l'on se propose : il faut une certaine hauteur d'eau pour la navigation, et le barrage est moins exposé à se dégrader s'il est constamment immergé ; toutefois ce dernier avantage que, paraît-il, on fait valoir, n'est évidemment qu'un prétexte insignifiant dans une aussi grave question. Ce que l'on se propose surtout, c'est de provoquer en amont le dépôt des alluvions et de prévenir ainsi la formation des barres en d'autres points, aux confluents, par exemple, à l'embouchure, ou aux parties inférieures des fleuves. Ce dessein semble résulter encore des précautions que l'on prend aussi pendant les grandes eaux.

Je transcris un article du règlement des éclusiers du Lot :

« Art. 4. — Dans les crues, les éclusiers auront soin de
» fermer les portes et d'ouvrir les vantelles, en réglant leur
» débit de manière que l'eau se maintienne dans le sac, au-
» tant que possible, à la hauteur du bief d'amont. »

En conséquence, pendant les crues, les portes sont fermées sans qu'il soit nécessaire, toutefois, que l'éclusier ait soin de les fermer ; car elles ne sont jamais ouvertes, si ce n'est successivement pendant les courts instants du passage des bateaux.

Quant aux vantelles, seraient-elles complètement ouvertes, leur débit serait insignifiant relativement à celui de la rivière pendant les crues. Toutefois le règlement écrit veut que l'eau se maintienne dans le sac à la hauteur du bief d'amont, c'est-à-dire que les vantelles d'aval soient presque fermées. En réalité, portes et vantelles d'amont sont soigneusement fermées aux écluses que j'ai visitées et dont je me suis informé. C'est nécessaire, car l'éclusier est tenu de noter, au moins chaque jour, plus souvent pendant les crues, le niveau des deux biefs et par suite de le reconnaître aux échelles de son écluse.

D'autre part, pour une cause que nous étudierons bientôt, l'eau s'élevant beaucoup plus rapidement *immédiatement* en aval du barrage qu'en amont, la chute disparaît ou devient insuffisante pour le travail des usiniers. Alors, ceux-ci, pour ne pas fatiguer inutilement leurs turbines, ferment leurs vannes. Les écluses étant aussi fermées, la partie active du lit de la rivière se trouve transportée toute entière au-dessus

des barrages, c'est-à-dire à peu près au niveau des rives, au-dessus, si la crue est un peu considérable.

Toutefois ce n'est pas tout, le barrage diminue encore en amont la déclivité, et, par suite, la vitesse. Mais le débit y est nécessairement le même ; il faut donc qu'une augmentation de section y vienne compenser la diminution de vitesse. Donc non-seulement le barrage élève le niveau des eaux en transportant plus haut le courant actif, il l'élève encore en augmentant la hauteur de la section active.

Il est inutile d'insister sur un fait aussi évident. Personne n'ignore que par l'établissement des barrages on se propose le plus souvent de créer une diminution de vitesse afin d'avoir une plus grande hauteur d'eau pour la navigation. En temps ordinaire, cette diminution de vitesse est évidente aux moins clairvoyants ; la vitesse est si faible qu'elle n'est nullement représentée dans les formules en usage pour calculer le débit d'un déversoir ou d'une vanne d'écluse.

Nous venons de voir deux causes d'élévation des eaux, par suite des barrages : le transport du courant actif à un niveau plus élevé, et l'augmentation de section, résultant de la diminution de vitesse. De cette surélévation des eaux résulte un autre fait extrêmement grave : la dégradation des rives et l'accroissement des barres naturelles dans les parties inférieures des fleuves. Nous avons déjà vu (p. 36) que cet effet peut résulter même des dépôts en amont, il est encore produit plus rapidement par les barrages.

En effet, à la hauteur où le courant est transporté par les barrages, les eaux sont en contact avec les terres meubles des rives qu'une vitesse de 10 centimètres pourrait dégrader. (1).

---

(1) Voici, d'après M. Claudel, la vitesse au-delà de laquelle les parois sont dégradées.

Terres détrempées, brunes,	0^m 076
Argiles tendres,	0. 152
Sables,	0. 305
Graviers,	0. 609
Cailloux,	0. 614
Pierres cassées, silex,	1. 220
Cailloux agglomérés ou poudings, Schistes tendres,	1. 520
Roches en couches,	1. 830
Roches dures,	3. 050

Or, pendant les crues, elles sont animées d'une vitesse de 5 à 10 mètres, même davantage, si nous en croyons ce qu'on nous dit de la Garonne ; les rives sont donc largement attaquées et ces alluvions légères, provenant de terres meubles, sont facilement entraînées au loin. Pour s'en convaincre, il suffit de regarder une rivière quelconque pendant une crue : le limon charrié par les eaux témoigne de leur action corrosive sur les rives. Ces alluvions légères, qui passent par-dessus les barrages, et ne font jamais défaut, remplacent largement aux barres naturelles les alluvions plus lourdes retenues par les barrages artificiels.

Les faits à la charge des barrages artificiels sont déjà graves ; toutefois ce n'est pas encore tout.

Pendant que les alluvions légères forment des atterrissements limoneux souvent malsains, les remous violents qui se produisent, non-seulement pendant les crues, mais en tout temps, en aval des barrages, en arrachent les galets et creusent les rochers, les cailloux, par un petit nombre de remaniements, sont transportés vers le barrage suivant ; ils avancent à chaque crue, et ce n'est qu'une affaire de temps, plus rapide qu'on pourrait le croire, pour que les atterrissements formés ainsi en amont de chaque barrage, s'élèvent en remontant à la manière des dunes, jusqu'au niveau du barrage lui-même. Celui-ci, cependant, avait été établi parce qu'on avait constaté la nécessité d'une plus grande hauteur d'eau pour la navigation. Que faire donc ? Elèvera-t-on encore les barrages ? Ce serait déposséder complètement les propriétaires riverains. On sauvera les apparences, pendant quelque temps, par des dragages constants, fort coûteux quoique exécutés seulement sur la largeur nécessaire pour le passage des bateaux. Peut-être demandera-t-on un canal latéral qui, à chaque débordement, sera encombré par les sables ? Enfin, il ne restera plus qu'à renoncer à la navigation, se résigner aux inondations et abandonner le commerce à la merci des compagnies de chemins de fer.

C'est triste : les ressources du pays épuisées, la navigation perdue, les rivières rejetées presque en entier hors de leur lit et les inondations si fréquentes que, bientôt, d'une inondation à l'autre, on se demandera s'il est à propos de réparer les désastres. Reprenons cependant un peu courage en pen-

sant que nous aurons bientôt un remède à tant de maux, et poursuivons l'instruction du procès des barrages.

Il n'est guère de mesure si désastreuse qui ne soit utile à quelqu'un, voyons si les usiniers au moins, ne bénéficieront pas de ces barrages si nuisibles.

Il est rare que les barrages ne soient construits qu'en vue de la navigation; ils sont presque toujours utilisés pour des usines. Dans ce cas, ont fait contribuer les usiniers à la construction, ou à la reconstruction, s'il s'agit d'un vieux barrage qui ne vaille pas d'être réparé. Les usiniers ne se font pas prier, ils sont même les premiers à faire des offres, et à solliciter une reconstruction qui, assure-t-on, augmentera considérablement la puissance de leur chute. D'ailleurs, on va jusqu'à contracter envers eux l'engagement d'entretenir à perpétuité le barrage en bon état, sans aucune nouvelle contribution de leur part.

En poursuivant la voie dans laquelle on s'engage chaque jour de plus en plus, que va-t-il résulter des sacrifices des usiniers et des engagements de l'Etat? Des procès sans doute. Pas le moins du monde : sacrifices et engagements seront, sans contestations, regardés comme nuls.

En effet, par suite des barrages, des autres causes que nous avons vues, et d'autres encore qui nous restent à étudier, les inondations deviendront de plus en plus fréquentes; or, en temps de crue, même ordinaire, les usines établies sur les rivières à régime variable, c'est-à-dire sur presque toutes, sont obligées de chômer faute de chute ; le chômage, par suite des crues ordinaires, deviendra donc de plus en plus habituel, malgré le parfait état des barrages. Mais ce n'est pas tout : nous allons étudier bientôt un autre fait dont je n'ai pas encore parlé qui, obligeant les eaux pluviales à se rendre immédiatement dans les cours d'eau, devient à la fois une cause puissante d'inondations et en même temps une cause de diminution des sources et de baisse dans le régime des eaux. Les usiniers chômeront donc, non-seulement pendant les pluies, mais encore par manque d'eau, surtout si, comme on s'en réserve le droit, on exige qu'ils ne fassent pas baisser le niveau des eaux au-dessous de la crête du barrage. Les usiniers ne peuvent garder leurs ouvriers et chômer la plus grande partie de l'année, ils se serviront d'abord de machines à va-

peur pendant le chômage de leur moteur hydraulique, puis ils renonceront complètement et spontanément à l'usage d'un moteur dont le bénéfice ne vaudra pas l'entretien.

Il est nécessaire de répondre ici à diverses objections : les uns m'ont dit qu'il n'est pas vrai que, pendant les crues, les barrages diminuent la vitesse et élèvent le niveau des rivières; d'autres, au contraire, comme nous l'avons vu (p. 18) prétendent qu'il n'y a rien de mieux que de retarder l'écoulement. Ce que j'ai déjà dit suffirait, sans doute, pour répondre aux uns et aux autres. Je vais, cependant, examiner les raisons qu'ils font valoir.

Il serait certainement avantageux d'arrêter la crue en route en retardant l'écoulement en amont, et ne laissant arriver les eaux dans le fleuve qu'à mesure que celui-ci peut les porter à la mer. Mais il y a à cela quelques petites difficultés : il faut loger les eaux que l'on veut retenir, et nous avons constaté l'impossibilité de leur trouver un logement. Ce sont des hôtes par trop incommodes. Il faudrait encore, pendant la station des eaux en amont des barrages, empêcher les sables d'effacer le lit de la rivière. En vérité, je ne suppose pas qu'après ce que nous avons vu, on puisse encore songer sérieusement aux moyens de captation.

Reste encore à répondre à ceux qui prétendent que pendant les crues les barrages ne diminuent pas la vitesse et n'élèvent en aucune façon le niveau de la rivière. En effet, dit-on, pendant les crues les eaux se maintiennent à la même hauteur en amont et en aval du barrage, donc une augmentation de vitesse se produit au-dessus du barrage lui-même, afin d'y compenser la diminution de section. J'avoue que si cette objection ne m'avait été faite par quelqu'un de la partie, je n'aurais pas songé à y répondre. Il ne me serait pas venu à la pensée que quelqu'un pût prétendre que des chaussées établies en travers de la rivière ne diminuent en aucune manière la vitesse et n'élèvent point le niveau des eaux. Décidément, nous sommes en progrès, je ne m'étonnerais pas si bientôt on doublait la hauteur des barrages dans le but de baisser le niveau des eaux. Examinons cependant l'objection.

Voyons d'abord pourquoi, lorsqu'une crue arrive, le niveau s'élève plus vite en aval du barrage qu'en amont, où la déclivité est cependant diminuée par la présence du barrage.

L'explication de ce phénomène est sensiblement la même que celle du Mascaret. Les eaux, à leur sortie du bief supérieur, ne rencontrant aucun obstacle, se précipitent dans le bief d'aval avec une vitesse considérable; mais différente, cependant, selon leur position. Celles qui sont placées plus profondément ont à subir une pression plus forte et leur trajectoire tend à former une parabole dont l'amplitude est plus considérable; celles qui sont placées à une moins grande profondeur au-dessus du barrage tendent à décrire des paraboles moins ouvertes et par conséquent à briser la trajectoire de celles qui sont placées au-dessous; les unes et les autres se précipitent sur les eaux déjà arrivées, et qui, placées sur le fond du bief inférieur, ne peuvent avoir la même vitesse; il en résulte des remous plus ou moins violents et irréguliers dont les différentes parties, prises en particulier, sont analogues au Mascaret. Ce remous, dont l'existence, manifeste à tous les yeux, ne peut être niée, ont une telle violence que l'on est obligé d'empêcher, par des enrochements ou des constructions, qu'ils ne creusent la roche en aval du barrage et ne déterminent la destruction de celui-ci.

La force vive, qui se dépense pour ces remous, est de la force perdue. Le mouvement que l'eau fait, pour ainsi dire, sur place, elle ne le fera point dans le sens du courant général de la rivière, et comme ces remous et irrégularités de mouvement se prolongent à une grande distance en aval du barrage, ils absorbent une force considérable et la vitesse de l'ensemble y est de beaucoup diminuée.

Il est facile, maintenant, d'apprécier la valeur de l'objection. Le barrage, supprimant la déclivité, diminue la vitesse, à une certaine distance, dans le bief supérieur; mais les remous qu'il produit dans le bief inférieur diminuent aussi la vitesse à tel point qu'elle devient beaucoup moindre que dans le bief supérieur, et que le niveau s'élève dans le bief inférieur jusqu'à la hauteur de celui du bief supérieur. Quelquefois il s'élèverait même plus haut, si les eaux d'aval, retenant celles d'amont, ne maintenaient les deux biefs au même niveau. Si la crue continue d'augmenter, les eaux superficielles couleront d'un mouvement plus ou moins uniforme sur les eaux inférieures.

J'ajoute ici une observation. Hors le temps des crues, ce n'est

pas sur le barrage même qu'on trouve la véritable hauteur de la section : l'augmentation subite de déclivité à la sortie du barrage, alors que les eaux ne rencontrent aucun obstacle devant elles, produit sur le barrage même une disparition des eaux plus rapide ; mais cette augmentation de vitesse ne s'étend pas, d'une manière sensible, au-delà de 4 ou 5 mètres en amont du barrage. Là cesse le dénivellement. C'est la différence de niveau entre la surface de ces eaux presque stagnantes, et la crête du déversoir, que l'on considère dans les calculs comme la hauteur de la section. L'épaisseur minimum sur le déversoir même est les 0,72 environ de la hauteur véritable mesurée où le dénivellement est insensible.

Pour fixer les idées sur les effets des barrages fixes, je citerai seulement un fait. M. l'ingénieur du Bazacle (Toulouse) a estimé à 10,000 mètres cubes par seconde le débit moyen de la Garonne, du 23 juin à midi au 24, à 6 heures du matin. Or, la chaussée du Bazacle qui barre le fleuve dans toute sa largeur et perpendiculairement au courant, a une longueur de 292^{m} 30. La lettre de M. l'ingénieur ne dit rien de la hauteur de la chaussée, mais la brochure qui a publié cette lettre, porte cette hauteur, une fois à plus de 4 mètres, et ailleurs, à 4 mètres 75 c. ; (1) en considérant ce nombre plus précis comme la hauteur de la chaussée, la portion de section de la rivière occupée ainsi par ce barrage, est de 1388 mètres carrés. Il n'eût fallu qu'une vitesse de 7^{m} 28 par seconde pour que la portion du lit de la rivière occupée par la chaussée eût suffi à l'écoulement de 10,000 mètres cubes par seconde. écoulement qui s'est fait au-dessus de la chaussée et du quai Dillon et à travers le faubourg Saint-Cyprien.

Quelle était en réalité la vitesse possible au Bazacle ?

Selon la publication déjà citée, lorsque pendant les crues la Garonne débite de 5 à 6,000 mètres cubes par seconde, la vitesse est de 4 à 5 mètres ; et ailleurs « la Garonne au plus fort de la crue débitait environ 18,000 mètres cubes d'eau par seconde, avec une vitesse variant entre 10 et 15 mètres. » Ces deux dires se confirment assez pour qu'il reste établi que nous aurions eu le 23 et le 24 une vitesse de plus de 7^{m} 28, surtout en l'absence du barrage, celui-ci diminuant considérablement la vitesse.

(1) en réalité, à raison des remous en aval, une chute de 4^{m} 75 suppose un barrage d'une élévation de plus de 4^{m} 75.

Ajoutons que M. l'ingénieur affirme que dans les conditions actuelles, c'est-à-dire malgré le barrage, 5,000 mètres cubes peuvent s'écouler sans causer trop de dommages. Il reste largement démontré que si le barrage n'eût existé, les quais auraient suffi à préserver la ville de l'inondation.

L'auteur, honoré des communications de M. l'ingénieur, fait un éloge pompeux de cette chaussée, « un des plus beaux ouvrages en ce genre qui existent. » Je me garderai bien de contester soit la solidité de cette masse dont la « largeur moyenne est de 20m 35 », soit la force motrice qu'elle peut développer. Il est vrai, je ne suis pas assez enthousiaste pour m'extasier devant « le mugissement de cette cascade artificielle, l'impétuosité du courant, le bouillonnement des eaux « qui tombent et qui soulèvent, en les refoulant, les eaux « d'aval » et « donnent l'idée d'une tempête éternelle. » Néanmoins, personne ne désire plus que moi que cette fameuse chaussée reçoive toute la célébrité qu'elle mérite. Il est juste, et surtout utile, pour l'instruction des siècles futurs que le souvenir de ses œuvres reste à jamais gravé dans la mémoire des hommes.

On pourra m'objecter, il est vrai, que les usines qu'elle met en mouvement font vivre de nombreuses familles. Je ne veux point examiner si ces usines n'auraient point trouvé de moteurs moins désastreux. Je laisse aussi à qui l'osera de calculer si les services qu'elle a rendus depuis sa construction, au commencement du siècle dernier, compensent les pertes et les deuils qu'elle a causés en 1727, 1750, 1772, 1790, 1827, 1835, 1855 et 1875. Je préfère donner le moyen d'empêcher les malheurs et de continuer les services.

CHAPITRE II.

EAUX INTÉRIEURES ET LEURS RÉSERVOIRS.

§ 1er. Généralités.

L'obstruction du lit des rivières et la diminution de leur vitesse sont deux faits corrélatifs dont on ne peut se dissimuler la gravité. Toutefois je n'oserais dire que ces causes exté-

rieures soient réellement les plus graves. Les inondations sont encore le résultat d'autres phénomènes qui se passent dans les réservoirs intérieurs des sources. Ces phénomènes sont d'autant plus dangereux qu'étant inaperçus, on ne s'en préoccupe nullement.

Quoique nous ne puissions visiter les réservoirs des sources pour y étudier les causes des inondations, nous possédons des pièces de conviction suffisantes pour établir contre eux un verdict de culpabilité et pour constater la nécessité de nous prémunir contre leurs agissements.

Les diverses roches qui forment l'écorce de notre globe sont en beaucoup de lieux interrompues par de vastes cavités. Sans remonter à l'origine ds ces cavités, leur existence est établie par des observations nombreuses et résulte de faits indiscutables. Les sources et les puits artésiens démontrent des courants intérieurs et des réservoirs spacieux où s'emmagasinent les eaux des pluies pour être ensuite livrées peu à peu pendant la sécheresse. Des rivières s'engouffrent quelquefois dans ces cavités : ainsi la Guadiana, l'un des plus grands fleuves de l'Espagne, disparaît tout à coup près du village de Castillo de Cerrera pour reparaître après un cours souterrain de 23 kilomètres. Cette disparition des rivières est surtout fréquente dans les terrains calcaires et particulièrement dans les terrains jurassiques. La Meuse se perd à Bazoilles pour reparaître à Noncourt à 15 kilomètres de distance. La similitude des variations de la Loire et du Loiret montre que celui-ci n'est qu'une réapparition de fuites de celle-là. Le haut Doubs communique avec les cavités intérieures par des fissures qui sont jaillissantes pendant les crues et absorbantes pendant les eaux basses. Un grand nombre de cours d'eau des départements du Doubs, du Calvados, de la Charente, de la Drôme et du Lot, disparaissent subitement, tantôt pour reparaître plus loin, tantôt sans qu'il soit possible de savoir ce qu'ils deviennent. Plusieurs, sans doute, se rendent directement à la mer, d'autres se divisent pour alimenter les sources qui sont les déversoirs connus de ces réservoirs cachés. Il est évident que des sources très-nombreuses surgissent dans le lit même des rivières, car celles-ci étant placées dans le thalweg des vallées, les communications avec les cavités intérieures y sont plus faciles.

Nos cours d'eau extérieurs provenant en très-grande partie des eaux intérieures, auxquelles ils retournent même quelquefois, il est évident que celles-ci nous intéressent au plus haut degré.

Toutefois étant résolu de ne m'appuyer que sur des faits incontestables, afin de ne pas nuire à l'adoption des préservatifs que je propose, je m'abstiendrai des hypothèses seulement probables, qui auraient cependant jeté du jour sur la question, et je m'en tiendrai à tirer les conclusions rigoureuses de quelques faits généraux inattaquables.

Les phénomènes que nous allons étudier se rapportent au mode d'alimentation des réservoirs, aux atterrissements qui peuvent s'y former et aux affaissements extrêmement graves qu'ils peuvent occasionner dans les départements maritimes. Un petit nombre de faits fournira à toutes nos conclusions.

§ 2. Alimentation et disposition des eaux intérieures.

Les canaux d'introduction sont quelquefois spacieux comme ceux qui engloutissent subitement des rivières, plus souvent ce sont de simples, mais nombreuses fissures ou failles qui traversent ou séparent les diverses couches de terrains et mettent les réservoirs intérieurs en communication soit avec les roches extérieures, soit avec la couche de terre végétale qui reçoit les eaux atmosphériques.

Entre ces canaux étroits qui fonctionnent seulement à des intervalles de temps assez éloignés, et les sources abondantes intarissables, il faut nécessairement supposer de vastes réservoirs qui, à raison de leur étendue en longueur et en largeur, peuvent contenir, selon la saison, des volumes d'eau très-différents, sans subir de grandes variations dans leur niveau, et, par suite, dans la charge qui détermine la vitesse d'écoulement.

La vaste étendue superficielle de ces réservoirs leur permet encore de recevoir promptement, pour les transmettre aux sources, les eaux pluviales tombées en des points assez éloignés. Le plus souvent celles-ci, pour arriver aux réservoirs, n'ont qu'à descendre plus ou moins verticalement par les fissures et les failles des roches qui forment les voûtes des réservoirs, comme cela s'observe dans la plupart des cavernes.

Pour l'ordinaire ces réservoirs sont beaucoup moins éten-

dus en hauteur que dans le sens horizontal : le poids et les failles des terrains placés au-dessus nécessitent de nombreux points d'appui. Des portions de voûtes affaissées plus ou moins irrégulièrement ont formé des piliers, des galeries et même quelquefois des étages superposés. Ces irrégularités se traduisent souvent à l'extérieur par des gouffres, des collines et des vallées ; d'autres fois les cavités sont remplacées par de vastes couches de terrains perméables situées entre d'autres imperméables.

Les eaux de ces vastes lacs intérieurs étant appelées à l'extérieur seulement par un petit nombre de points, n'y possèdent généralement, à travers toutes ces interruptions, qu'une faible rapidité. L'abondance de beaucoup de sources provient moins de la vitesse du courant intérieur, que de la forme du réservoir qui permet aux eaux d'arriver de différents côtés à la fois à l'orifice de la source, ou au canal intérieur qui met en communication cet orifice avec le réservoir intérieur.

Cette description générale qui dérive de l'observation des sources, des cavernes, des puits artésiens et autres, ainsi que des grands faits géologiques de soulèvements et affaissements, se rapporte surtout aux sources importantes. Un grand nombre de sources ne sont que des suintements qui ne supposent d'autres approvisionnements que ceux qui peuvent être faits dans les terrains perméables voisins. Ces sources ne peuvent entrer dans une étude sur les inondations.

§ 3. Comment cesse l'alimentation des réservoirs des sources

Après cette excursion rapide dans les réservoirs des sources, revenons à leur mode d'alimentation. Nous y verrons des faits très-importants.

Pendant leur trajet du sol extérieur aux cavités intérieures, les eaux, très-divisées, sont en contact par un grand nombre de points avec les terrains qu'elles traversent ; elles s'y saturent des substances étrangères ; arrivées à l'intrados de la voûte naturelle et avant de tomber dans le réservoir, elles sont retenues un instant par leur affinité pour la matière des parois ; une partie se vaporise, les substances que cette partie tenait en dissolution se déposent et obstruent l'ouver-

ture des canaux d'arrivée. Ces concrétions, principalement formées de sels calcaires, augmentent constamment et forment des stalactites suspendues à la voûte ; si le sol permet un prompt écoulement et par suite l'évaporation des eaux dont il est arrosé, des stalagmites s'élèvent au-dessous des stalactites avec lesquelles elles peuvent se joindre pour former des colonnes d'albâtre calcaire.

Tout cela est, sans doute, magnifique à voir ; mais, en même temps les concrétions s'étendent d'une fissure à l'autre et interceptent toute communication avec l'extérieur ; les canaux d'introduction, fermés par le bas, sont immédiatement remplis par le haut de terres et sables, et les eaux pluviales de toute la contrée se rendent immédiatement aux rivières sans passer par les réservoirs des sources. D'où la fréquence des inondations que l'on a coutume d'attribuer au déboisement.

Alors les eaux pluviales n'ont plus qu'à couler rapidement du sommet des collines dans les vallées pour se rendre en masse dans les rivières de tous côtés à la fois, si les pluies sont tombées sur des terrains d'une certaine étendue. Avant l'obstruction des fissures, les eaux pénétraient dans les cavités intérieures et y étaient mises en réserve pour être ensuite distribuées peu à peu en sources bienfaisantes.

On peut vérifier ce mode d'alimentation des sources en une foule de lieux et en particulier dans les magnifiques cavernes de Livernon et de Marcillac (Lot). Les stalactites et les stalagmites y abondent et s'y réunissent quelquefois en colonnes de 15 mètres de hauteur. Certaines de ces cavernes ont plusieurs centaines de mètres (1) de longueur dans leur partie accessible et laissent apercevoir des prolongements et des ramifications profondes remplies d'eau dans lesquelles on n'a pas encore osé pénétrer, ou plutôt se précipiter. Ces cavernes permettent d'observer les phénomènes dont nous avons parlé sous toutes leurs phases. En beaucoup de points les concrétions, nécessairement formées par les eaux sont arrêtées, c'est-à-dire que les canaux sont interceptés ; en d'autres, les stalactites sont encore percées d'un petit canal étroit qui permet les suintements et la continuation des concrétions, enfin dans les abîmes latéraux on trouverait sans doute de vastes réser-

(1) Selon la statistique de M. Delpont, l'une d'elles a dans sa partie accessible 460 mètres de longueur.

voirs avec leurs alluvions ; car on trouve dans le même département plus de 150 grottes, plus ou moins remarquables, et de gouffres nombreux dont plusieurs ont plus de 50 mètres de profondeur. Des ruisseaux également nombreux se perdent ou prennent naissance dans ces gouffres ou ces cavernes.

§ 4. Comment, en même temps, les rivières peuvent tarir près de leurs sources et les fleuves inonder dans la partie inférieure de leur cours.

Les concrétions des canaux d'alimentation peuvent, selon les circonstances, produire la disparition des rivières ou les inondations. Le haut Danube a subitement disparu l'année dernière entre Moringhen et Immindingen sur la frontière du duché de Bade et du Wurtemberg. Depuis environ un demi-siècle on remarquait qu'une partie des eaux s'écoulait par les fissures des roches calcaires pour ne reparaître que près de la ville d'Aach entre Engen et Stokbach, l'été dernier ce n'était plus seulement une partie mais toute la masse d'eau qui passait ainsi dans les cavités intérieures. Je suppose que les fuites du haut Doubs finiront aussi par devenir complètement absorbantes. Un grand nombre de rivières pourront plus tard se trouver dans le même cas. Rendons-nous compte de ce phénoméne :

Les cavités intérieures suivent en général la pente des formations géologiques qui est souvent celles des plateaux et des vallées. Elles communiquent par des fissures, à leur partie inférieure avec la rivière, et à leur partie supérieure avec les hauteurs voisines. Les fissures qui devraient introduire les eaux pluviales tombées sur les hauteurs, s'obstruent par les concrétions ; mais l'évaporation est rarement possible, et par suite aussi les concrétions, dans les canaux constamment noyés qui mettent en communication le lit des rivières avec les parties basses des réservoirs, car celles-ci sont au moins saturées d'humidité si elles ne sont remplies d'eau. De plus ces fissures inférieures se rectifient et s'agrandissent le plus souvent par l'érosion des eaux qui les parcourent.

Les communications placées dans les parties hautes des rivières, comme il arrive pour le haut Doubs et le haut Danube sont en aval des hauteurs voisines dont les eaux pluviales avant la formation des concrétions alimentaient les

réservoirs, tandis qu'elles sont placées en amont des fuites des parties plus basses des mêmes rivières. Tant que l'alimentation a été suffisante, le thalweg des réservoirs correspondant au lit de la rivière a été rempli et toutes les communications ont été jaillissantes. L'alimentation devenant plus rare, elle n'a pu suffire à la dépense des fuites ; un vide s'est fait au-dessous du haut Doubs et du haut Danube et les fuites y sont devenues absorbantes.

Si les fuites inférieures continuent de s'agrandir, et que, par suite de l'absence des eaux intérieures, l'évaporation devienne plus rapide dans les parties supérieures des réservoirs, les concrétions coutinueront de s'étendre sous les plateaux ; les parties hautes des rivières deviendront de plus en plus souterraines, et toutes les eaux qui y auront été absorbées étant rendues plus bas par les fuites jaillissantes agrandies, les crues pourront être considérables dans la partie principale du cours des fleuves, alors qu'elles auront été à peine sensibles dans leurs tributaires.

§ 5. Travaux d'assèchement.

Toutefois, ce n'est pas tout, nous avons été amenés à accroître nous-mêmes nos désastres. Dès que les canaux d'alimentation des réservoirs ont été obstrués, les eaux sont arrivées en trop grande abondance dans les vallées ; la culture y a été difficile, même pour les prairies qui produisaient des joncs et autres herbes de mauvaise nature. Quand on a été assez riche on a drainé. Il fallait amener promptement les eaux à la rivière voisine ; les particuliers, les communes et les départements se sont imposés des sacrifices, et au thalweg d'un grand nombre de vallées, on a creusé le lit d'un ruisseau artificiel qui immédiatement a augmenté la valeur des terres débarrassées des eaux en excès.

Mais à côté de cet heureux résultat est l'inconvénient de rendre plus graves les inondations, en amenant immédiatemement de tous côtés à la fois les eaux pluviales dans les rivières et les fleuves. Il faut donc encore rechercher un moyen de conserver les avantages et de supprimer les malheurs.

§ 6. Alluvions dans les réservoirs des sources.

Les crues des rivières peuvent encore recevoir de l'accroissement par suite des atterrissements qui se forment dans les

cavités intérieures. En effet, les eaux pluviales qui pénètrent dans les réservoirs y charrient souvent des terres et des sables. Ainsi, par exemple, le gouffre de Lentoui (Lot), de 15 mètres environ de diamètre, qui donne naissance à un ruisseau assez considérable, reçoit lui-même et absorbe chaque année, selon la statistique de Dupont, plus de 1,000 mètres cubes de terre et de pierres apportées des montagnes voisines par les torrents. Or, malgré les matières solides introduites sans cesse dans les réservoirs des sources, nous voyons ordinairement les eaux en sortir limpides. Cela se comprend, l'absence presque complète de vitesse dans les lacs intérieurs y provoque la précipitation des alluvions. Mais la présence des alluvions supprime chaque année quelque partie des réservoirs, et les eaux qui n'y sont plus mises en réserve, s'écoulent immédiatement dans les cours d'eaux extérieurs.

§. 7. Affaissements du sol et soulèvements.

Je passe d'autres faits importants résultant des modifications des réservoirs et j'arrive aux affaisements qu'ils peuvent produire dans les départements maritimes. Il résulte d'une étude de M. Jules Gérard, publiée dans le Bulletin de la Société de Géographie, que des affaisements et des soulèvements se produisent en divers points de notre littoral de l'Atlantique et la Manche.

Une étude sur les lieux serait indispensable sinon suffisante pour déterminer avec certitude les causes de ces oscillations, néanmoins ce que nous pouvons savoir des réservoirs intérieurs explique très-bien les affaissements.

Quoi qu'il en soit de ce qui se passe en tel ou tel lieu, il est facile de démontrer que les courants souterrains, quand ils sont placés sous le côtes maritimes, comme il arrive fort souvent, produisent *nécessairement* des affaissements, à moins que d'autres causes ne vienneut en modifier les effets.

En effet, les réservoirs souterrains plongent à de grandes profondeurs, comme le prouvent les puits artésiens qui démontrent aussi la facilité avec laquelle les eaux peuvent se mouvoir dans ces réservoirs immenses, ainsi que la force d'ascension qu'elles y possèdent pour s'élever à d'aussi grandes hauteurs malgré les frottements et les pertes dans les tuyaux de conduite. Ainsi le puits de Grenelle, à Paris, est profond de 548 mètres, c'est-à-dire plus de 500 mètres au-

dessous du niveau de la mer ; il donne, à 21 mètres au-dessus du sol, 1300 à 1400 litres d'eau par minute ; au niveau du sol, il a donné 2300 litres. L'orifice supérieur a 0^m55 de diamètre et l'orifice inférieur de 0^m18. La vitesse avec laquelle l'eau a dû jaillir de cet orifice pour un écoulement de 2300 litres par minute, est de 90 mètres par minute ou 1^m50 par seconde. Le puits de Bages, près de Perpignan donne 2000 litres par minute ; celui que Degoussé a foré à Tours donne, à 2 mètres au-dessus du sol, 1110 litres d'eau par minute.

Les nappes liquides qui alimentent les sources et les puits artésiens se prolongent souvent jusqu'à la mer, comme le démontrent les variations de certains puits artésiens. Ainsi Baillet de Belloi s'est assuré que nouveau puits artésien de Noyelle-sur-Mer (Somme), monte et baisse avec la marée ; d'après F. Arago, le puits de Fulham, près de la Tamise, profond de 97 mètres, varie entre 363 et 273 litres par minute selon que la marée est haute ou basse. On comprend, en effet, que la pression de l'eau de l'Océan augmentant avec la hauteur de la marée, pendant la marée haute les eaux de la nappe souterraine s'écoulent alors moins facilement dans la mer et peuvent s'élever plus abondantes dans le puits.

Les puits dit artésiens sont généralement très-profonds et les nappes d'eau qui les alimentent au-dessous du niveau de l'Océan. Ces nappes suivent presque toujours l'inclinaison des formations géologiques et descendent des chaînes de montagnes à la mer. Il est donc établi que les principales eaux souterraines ont leur dernier déversoir dans la mer. Le plafond supérieur, dans ce cas, tend nécessairement à s'affaisser et, à moins que d'autres causes ne viennent modifier le phénomène, il s'affaisse jusqu'au contact ; les eaux s'écoulent seulement par les irrégularités du joint qui se modifient constamment. Quand aux alluvions apportés du sol dans ces cavités, beaucoup sont arrêtés longtemps avant d'arriver à la mer, dans les contre-bas et les sinuosités de ces vastes labyrinthes, d'autres sont emportés avec les alluvions provenant des réservoirs, et ces alluvions molles peuvent difficilement compenser les pertes dues à la corrosion des parois.

Bien que la marche de l'érosion soit plus ou moins uniforme, ses effets extérieurs peuvent quelquefois se manifester

brusquement. Des interruptions ou piliers naturels peuvent soutenir pendant un certain temps les plafonds ou couches supérieures, mais ceux-ci, se corrodant ou se ramollissant constamment, s'affaiblissent de plus en plus, et il vient un moment où ils cèdent sous le poids de terrains qu'ils ne peuvent plus soutenir, et produisent des affaissements partiels plus ou moins subits.

C'est ainsi que j'explique, jusqu'à étude plus complète, les désastres immenses qui arrivent de temps à autre dans la Hollande où le sol descend en certains points au-dessous du niveau de la mer. La situation de ce pays ext extrêmement grave. En beaucoup de lieux les canaux ne suffisent pas conserver les terres reconquises, il faut encore des machines hydrauliques pour élever les eaux et les déverser dans les canaux. Les choses en sont à ce point que la vis d'Archimède, employée surtout à cet usage et perfectionnée, dans ce but par les habitants, a pris le nom de vis hollandaise. On y utilise surtout la force motrice du vent, vu qu'elle ne coûte que l'entretien des machines. Néanmoins ces conquêtes sont onéreuses et toute la contrée peut s'attendre sans cesse à d'immenses désastres. Ainsi le Zuyderzée, golfe de 220 kilomètres, sur 75,largeur moyenne, n'était autrefois qu'un lac d'eau douce de médiocre étendue, situé assez avant dans les terres, et ne communiquant avec la mer que par un mince filet d'eau. En 1225 une irruption de la mer a fait de ce lac le golfe actuel. Le lac ou mer de Harlem, de 25 kilomètres sur 11, qu'on a réussi à dessécher de 1840 à 1858, avait également été formé par une irruption de la mer au XVIe siècle. Le Dollard, formé par d'autres irruptions en 1277 et 1287, a pris la place de 33 villages et fait périr 100,000 habitants.

Des faits semblables viennent aussi dans notre patrie confirmer cette théorie peu rassurante. Ainsi « (1) après la conquête des Gaules par Jules César, la baie du mont St-Michel, le plateau des Minquiers, les îles Chaussey et vraisemblablement Jersey faisaient partie d'une vaste forêt appelée Koquelunde au sud et Scissey (Setiacumnemus), de Granville à la pointe de la Hogue. » Au XIIe siècle on a construit une digue de 36 kilomètres pour préserver des grandes marées les terrains qui s'étendent devant la baie

St-Michel. Au milieu de cette plaine que les travaux d'assèchement ont rendue à l'agriculture, s'élève le mont Dol, haut de 65 mètres, au sommet duquel est une fontaine qui ne tarit jamais. L'élévation de cette fontaine montre à quelle pression sont soumises les eaux dans les réservoirs intérieurs qui l'alimentent, ainsi que la vitesse avec laquelle fuient vers la mer, celles qui prennent un chemin plus facile, corrodent les plafonds de leurs réservoirs, et préparent d'autres submersions pour l'avenir.

Le mémoire de M. Jules Gérard cite beaucoup d'autres faits. « (1) Suivant une tradition fort accréditée dans la basse Bretagne, une ville autrefois importante, la ville d'Ys, occupait le fond de la baie de Douarnenez. Cette ville, capitale du roi Gardou, aurait été engloutie par la mer dans le IV[e] et V[e] siècle. » L'affaissement paraît avoir été de 1 mètre par siècle.

Le Morbihan semble avoir subi, depuis l'époque druidique, un affaissement de 5 mètres.

Les côtes de la Gascogne s'affaissent aussi, mais inégalement. Les ouvrages de défense de la pointe de Graves plongent constamment. « (1) L'abbaye de St-Nicolas-de-Graves, l'église de Cordouan et l'ancien monastère de Soulac ont disparu sous les eaux. Le rocher de Cordouan faisait autrefois partie du continent, il en est éloigné maintenant de 10 kilomètres. Le fort de Cortin est sous les eaux depuis 1790 sans avoir été ni détruit ni corrodé » ce qui ne permet pas d'attribuer les affaissements à l'érosion extérieure.

« La ville de St-Jean-de-Luz s'étendait davantage au nord ; à son extrémité était un couvent de bénédictins aujourd'hui détruit par la mer. Deux puits, seuls restes de ce monastère, s'élèvent du sein des eaux et leur maçonnerie qui a résisté permet de toujours y puiser de l'eau douce. » Il est très-probable que St-Jean-de-Luz étant placé au fond du golfe est surtout attaqué par les flots de la mer ; néanmoins, les puits d'eau douce sont encore ici des témoins des eaux souterraines.

D'autres causes peuvent produire des affaissements, et il faudrait encore des études sur les lieux mêmes pour déter-

(1) Bulletin de la Société de Géographie, numéro de septembre 1875, mémoire de M. Jules Gérard.

miner si dans tel cas particulier ils résultent de la cause dont nous venons de constater, d'une manière générale, l'existence et la gravité. Les affaissements expliqués, il serait intéressant de rechercher la cause des soulèvements. Toutefois ces derniers faits se rapportent moins à la question que nous étudions ; ils ne paraissent directement dangereux qu'autant qu'ils exhausseraient le lit des cours d'eau près de l'embouchure, ce qui pourrait arriver pour la Somme, la Charente et quelques autres cours d'eau de moindre importance. Toutefois il suffit que nous sachions conserver aux rivières leur déclivité, sans nous préoccuper davantage des exhaussements de la contrée; et les moyens par lesquels nous remédierons aux atterrissements du lit des rivières suffiront encore ici. Même les émersions observées peuvent ne point provenir de soulèvements et avoir pour principales causes les alluvions maritimes et fluviatiles.

Certains supposent que l'humidité des couches perméables produit sur les bancs de craie une sorte de foisonnement qui en augmente le volume et, par suite, élève le sol. Cette explication me paraît peu fondée : l'effet du foisonnement ne pourrait demander beaucoup de temps pour arriver à son maximum et il y a longtemps que de tels soulèvements auraient cessé. Il me semble plus naturel de supposer que dans beaucoup de cas les soulèvements sont des faits corrélatifs des affaissements. Ainsi l'émersion que l'on constate des côtes de la Bretagne, de St-Brieuc à Roscof serait, je suppose, corrélative des affaissements qui se produisent de Vannes jusqu'à la baie de Douarnenez, comme si la presqu'île basculait autour d'un axe allant de l'est à l'ouest et placé dans la moitié nord de la Bretagne. Il suffirait à la production de ce phénomène que la corrosion intérieure fût plus rapide au sud ou que le poids des terrains y fût plus considérable, ou encore que l'action des marées plus puissantes de la Manche refoulât dans les cavités intérieures des Côtes-du-Nord des apports maritimes plus considérables. Il nous importe moins de connaître les causes de ces soulèvements que celles des affaissements. L'explication que j'en donne est seulement hypothétique : une solution définitive me paraît requérir une étude sur les lieux; toutefois on se permet souvent des explications moins fondées.

On parle encore de l'action de la chaleur centrale : je dirai ce que j'en pense dans l'étude que j'espère présenter prochainement,

J'ai démontré que les modifications naturelles des réservoirs intérieurs présentent un triple danger : 1° les canaux d'introduction des réservoirs disparaissent ; 2° des atterrissements peuvent diminuer la capacité des réservoirs ; 3° l'érosion intérieure est une cause d'affaissement pour les départements maritimes. Nous avons donc à remédier à ce triple mal.

Je n'ai rien osé présumer pour les affaissements des départements éloignés de la mer. Les nivellements de l'administration des ponts et chaussées peuvent résoudre la question. Je me contente de faire les observations suivantes :

Selon le dictionnaire de Bouillet, 1872, l'altitude de la Seine à Paris est de 34 mètres ; et selon le *Petit Moniteur universel* du 4 mars dernier, elle était de 30 mèt. 42c71m au moment de l'inondation, alors qu'à l'échelle d'étiage du Pont-Royal, la Seine s'élevait à 5m91. Il résulterait du renseignement du *Petit Moniteur* que l'altitude ordinaire de la Seine ne s'élèverait pas à plus de 26 mètres. Y a-t-il erreur ou affaissement de 8 mètres ? L'Annuaire du Bureau des Longitudes donne 34 mètres pour l'altitude du pavé de l'église de St-Denis, ce qui ne permet pas de supposer 34 mètres pour hauteur de *la Seine à Paris*. Il est difficile de croire à une faute d'impression dans le dictionnaire, car le même ouvrage donne 8 mètres pour l'altitude de la Seine à Rouen, tandis que *La Nature, revue des sciences, le 19 juin 1875,* porte cette altitude seulement à 4m50. Il est important de remédier à ces affaissements s'ils existent ; mais jusqu'à des renseignements plus complets, je préfère supposer quelque erreur. De pareils affaissements nous présageraient un avenir par trop sinistre.

J'aurais encore quelques observations qui ne sont pas sans importance relativement à la conservation des sources : ainsi un grand nombre d'usiniers font, pour conserver leur source, précisément ce qui en accélère la perte. Mais ceci ne se rapportant qu'indirectement à mon sujet, je termine ici cette étude des causes immédiates des inondations.

**

Résumé de l'étude des causes principales.

Les atterrissements de l'embouchure des fleuves, ceux des confluents; l'exhaussement progressif et l'incertitude présente du lit des cours d'eau; la disparition des chutes motrices des usines, la cessation prochaine de la navigation; la vaste étendue et la richesse des vallées et des plaines où les débordements des fleuves vont être de plus en plus fréquents en attendant que les eaux s'en emparent complètement; les affaissements lents, mais constants, de plusieurs de nos départements maritimes menacés d'une situation semblable à celle de la Hollande; l'occlusion des canaux par lesquels se fait l'alimentation des sources qui menace les hauteurs de sécheresse, pendant que les eaux pluviales, arrivant aux fleuves sans passer par les réservoirs intérieurs, inonderont les vallées; tout nous annonce l'avenir le plus désastreux. Il ne s'agit point de craintes plus ou moins hypothétiques: les terribles spécimens par lesquels nous sommes avertis sont plus que hypothèses, et les conclusions que nous avons déduites sont les conséquences immédiates et rigoureuses de faits tangibles et incontestables.

Nous aurons assez de cœur pour ne pas nous tranquilliser dans la confiance que la générosité des citoyens non encore atteints viendra en aide aux autres; à moins que nous ne nous hâtions d'y remédier, tous le seront directement ou indirectement. Si nous nous contentons de palliatifs plus dangereux qu'utiles, nos villes les plus populeuses, nos terres les plus fertiles, vont faire place à de fétides marais, pendant qu'en beaucoup de lieux, les plateaux desséchés se refuseront à la culture. Les villes, les campagnes, l'agriculture, l'industrie, le commerce, la santé et la vie des populations, la prospérité, l'avenir de la patrie, tout est menacé et le péril est imminent. Nous allons voir dans la troisième partie les préservatifs efficaces, pratiques et suffisants par lesquels nous pourrons conjurer tant de maux.

TROISIÈME PARTIE.

PRÉSERVATIFS DES INONDATIONS.

Etat de la question.

Nous devons préserver les embouchures de nos fleuves des barres solides et liquides; prévenir et arrêter les affaissements de quelques-uns de nos départements maritimes; remédier aux divers atterrissements du lit des cours d'eau; assurer l'alimentation des réservoirs intérieurs des sources; régler le régime des rivières et des fleuves de manière à les empêcher de sortir de leur lit, et cependant assurer la hauteur d'eau nécessaire pour la navigation. Nous devons, en outre, obtenir qu'on traite comme causes puissantes de nos désastres, des ouvrages employés jusqu'à présent comme préservatifs. Pour obtenir tout cela, je n'ai rien que la force de la vérité; mais j'espère avoir avec moi tous les hommes de cœur, et j'estime assez mon pays pour me persuader, qu'en France, aujourd'hui, il n'en faut pas davantage pour réussir.

Cette étude des préservatifs se divisera, comme celle des causes, en deux chapitres : dans le premier, nous examinerons les préservatifs qui se rapportent directement aux rivières et aux fleuves, et, dans le second, ceux qui se rapportent immédiatement aux eaux intérieures.

CHAPITRE Ier.

PRÉSERVATIFS QUI SE RAPPORTENT DIRECTEMENT AUX RIVIÈRES ET AUX FLEUVES.

§ 1. Objet de ce chapitre.

La méthode homœopathique ayant été funeste, nous serons ici allopathes. Jusqu'à présent on a obligé les rivières à dégrader leurs rives et à exhausser leur lit, nous les forcerons à approfondir leur lit et à en porter les détritus assez avant dans la mer pour qu'ils ne puissent nous nuire.

Dans ce chapitre nous verrons, à peu près simultanément, comment nous obtiendrons la vitesse nécessaire à l'érosion du fond des rivières? Comment nous nous rendrons maîtres des différentes barres? Comment, enfin, nous trouverons, au moment des crues, un écoulement assez rapide pour qu'elles soient inoffensives, ou plutôt pour *qu'elles passent inaperçues.*

Nous nous convaincrons ensuite que la navigation, l'industrie et l'agriculture ont tout à gagner à la réalisation de ces préservatifs.

Enfin, je répondrai à quelques objections sur des difficultés de détail. Les objections générales seront résolues au fur et à mesure qu'elles pourront se présenter. Je veux éviter de laisser les doutes s'accumuler dans la pensée du lecteur.

§ 2. **Il importe surtout de faciliter l'écoulement.**

Cette proposition doit paraître bien difficile à établir, après ce qu'on nous a dit de l'écoulement de la Garonne, le 23 et le 24 juin dernier. Le débit ne dépendant, en dernière analyse, que de la vitesse et de la section, quelle vitesse destructive ne semble-t-il pas qu'il aurait fallu pour contenir le fleuve entre ses rives ordinaires, alors qu'une vitesse de plus de 10 mètres par seconde (1) ne l'a pas empêché de s'étendre en largeur d'une manière si désastreuse?

Nous avons déjà vu (p. 54) qu'en admettant le débit tel que le donne M. l'Ingénieur une section égale à celle occupée par le barrage du Bazacle et une vitesse de 7^m 28 auraient suffi à l'écoulement. Nous voilà donc revenus à des données moins anormales.

Lorsque la rivière est contenue dans son lit une vitesse un peu considérable ne peut être très-désastreuse. Toutefois, quand je propose de faciliter l'écoulement, j'espère bien n'avoir jamais besoin d'une vitesse de 7^m 28 par seconde, laquelle, en l'absence du barrage, aurait cependant suffi pour tenir le niveau des eaux à une belle profondeur au-dessous des quais.

---

(1) Cette vitesse est indiquée par l'éditeur de M. l'Ingénieur du Bazacle. La lettre publique de M. l'Ingénieur parle du débit et du volume pendant 18 heures, mais elle ne dit rien de la vitesse.

Nous n'avons pas partout des retenues comme le quai Dillon. Une vitesse aussi grande que celle qui pouvait exister à Toulouse, entre les digues longitudinales, serait désastreuse dans les campagnes.

On s'est obstiné à retenir témérairement les eaux pour les faire écouler *plus tard*. On s'est comporté comme un commerçant en déconfiture qui accumule ses dettes, espérant apaiser plus tard ses créanciers. Je propose de faciliter l'écoulement *dès le premier instant de la crue*. Qui paye toujours comptant, n'est pas exposé à faire faillite.

Il faut reconnaître, toutefois, qu'on a été assez prudent pour construire peu de barrages dans les parties inférieures des fleuves. Comment, en effet, créer des chutes lorsque les eaux, presque au niveau des berges, n'ont guère plus de déclivité que dans les lacs? Mais, j'oubliais, les chutes y sont encore possible, témoin, en 1856, les cascades par-dessus les digues de la Loire.

Aujourd'hui, la vitesse est retardée en amont des rivières par de nombreux barrages, qui y suppriment aussi la capacité du lit; d'où inondations des riverains supérieurs. Elle est presque supprimée en aval par l'absence de déclivité, les barres de l'embouchure, celles des confluents, etc; elle est même supprimée complètement par l'introduction des eaux de la mer qui font rétrograder celles du fleuve, et précipitent les alluvions; d'où inondations des riverains inférieurs. Par les moyens que je propose, les eaux, animées d'une vitesse modérée et régulière, disparaîtront rapidement, emportant constamment vers la mer les alluvions qui seront abandonnées en lieu inoffensif. En même temps elles creuseront et approfondiront leur lit que nous avons aidé à encombrer. Il n'en faut pas davantage pour empêcher les inondations fluviatiles. Mon principe est de *payer comptant* au lieu de traiter à longues échéances. Je n'ai pas examiné jusqu'à quel point l'accumulation des dettes contribue à la puissance des Etats, mais il est évident que l'accumulation des eaux dans les rivières, n'est pas un moyen de sécurité pour les populations.

La longueur du cours de la Garonne est de 600 kilomètres. (1). Avec une vitesse de 2 mètres par seconde, il n'aurait

(1) Annuaire du Bureau des Longitudes. Cet ouvrage est rempli de renseignements précieux ; c'est un manuel indispensable à la plupart des praticiens. Prix 1 fr. 50.

pas fallu trois jours et demi pour que, en juin dernier, les eaux du commencement de la crue se fusssent rendues de la source de la Garonne à l'Océan. Elles y auraient été mieux placées que dans le lit du fleuve, où elles ont dû attendre que, par leur accumulation, la largeur de la section, sa hauteur et le surcroît de vitesse qui en résulte, pussent suffire à l'écoulement.

Des eaux assez considérables pour une inondation ne partent pas toutes au même instant, ni exactement du même point ; elles ne deviennent dangereuses que par leur accumulation. Si l'on se hâte de se débarrasser de celles qui se sont présentées les premières, ou qui ont pris par les affluents une une route plus directe, l'inondation sera presque insignifiante. Voyons ce qui s'est passé en juin dernier. (1).

« C'est le mercredi, 23 juin, dans l'après-midi, que la crue » de la Garonne atteignait son maximum : près de 10 mètres » au-dessus du zéro de l'échelle, soit environ 2 mètres 50 au- » dessus du niveau auquel s'était arrêtée la crue de 1855, qui » avait été la plus forte qu'on eût vue, depuis le commence- » ment du siècle, dans le bassin de la Garonne.

» Il pleuvait sans interruption *depuis la fin du mois pré-* » *cédent ;* des neiges, chose rare à cette époque de l'année, » étaient tombées en abondance dans les Pyrénées, notam- » ment sur les pics des montagnes au pied desquelles s'étend » la ravissante vallée où Bagnères-de-Luchon est gracieuse- » ment couchée. Les nouvelles que nous recevions *depuis* » *plusieurs jours* des pays d'amont étaient alarmantes. *Tous* » *les cours d'eau* du bassin supérieur de la Garonne grossis- » saient à vue d'œil, et la Garonne elle-même était en crue. » *Dès le 21*, elle commençait à charrier des débris arrachés à » ses rives ou apportés dans son lit par ses affluents. » Les eaux ne se sont donc pas présentées tout à coup, il aurait été avantageux de s'en débarrasser rapidement, et *on avait trois semaines pour le faire ; c'est l'histoire de la plupart des inondations fluviatiles.*

On conviendra sans peine qu'il doit être au moins fort rare qu'une trombe puisse produire assez d'eau pour causer une inondation grave, même avec la disposition actuelle de nos rivières. Mais beaucoup sont persuadés que la fonte des neiges des montagnes est la principale cause de la plupart des inon-

(1) Les Inondations dans le Sud-Ouest.

dations fluviatiles, et que cette cause agit subitement, c'est un préjugé fondé sur ce que nous aimons à nous dissimuler notre ignorance des causes, et nous nous hâtons de placer celles-ci dans un certain lointain.

La fonte des neiges provient de diverses causes, celles dont on veut parler sont l'insolation, les vents chauds et les pluies chaudes. Voyons ce qu'il en faut penser.

D'abord, l'élévation de température ne peut guère produire une fonte de neiges assez subite pour une inondation un peu étendue. En effet, le volume de l'eau de fusion est 10 ou 12 fois moindre que celui de la neige d'où elle provient. Il faudrait donc la fusion d'un volume de neige très-considérable. Or, vu l'inconductibilité de la neige pour la chaleur, l'accumulation de la neige sur les montagnes ne fait rien à la rapidité de la fusion. L'abondance des eaux de fusion ne peut donc provenir que de l'étendue de la surface et de l'élévation de la température; mais les montagnes en question ont une étendue très-restreinte relativement au reste du bassin de nos fleuves. Dans les contrées habitées, nous voyons bien qu'un orage de *quelques instants* transforme souvent les rues de nos villes en ruisseaux que l'on ne peut franchir, si les eaux ne sont reçues promptement dans des égoûts; mais en l'absence des pluies rien de semblable ne se passe lors de la fonte de la neige; il faudrait donc qu'un fleuve fût dans des conditions réellement mauvaises pour qu'il ne pût suffire à l'écoulement des eaux de fusion provenant de l'étendue restreinte des neiges des montagnes, alors, qu'à cause de l'inconductibilité, ces neiges ne peuvent être atteintes qu'extérieurement, et qu'à l'altitude élevée où elles sont placées, la chaleur ne peut être très-considérable.

Les cours d'eau se dirigeant, comme la déclivité, des montagnes vers la mer, nous sommes portés à supposer que presque toutes les eaux proviennent des montagnes. Il est vrai, les pluies ou les neiges y sont beaucoup plus considérables, mais la chaleur y est toujours très-médiocre, comme le savent fort bien ceux qui ont habité successivement les montagnes et les contrées basses.

La fonte des neiges des montagnes, causée par les pluies n'est pas plus redoutable, que celle qui provient de l'insolation ou des vents chauds. En effet, le calorique latent de

fusion de la neige ou de la glace est 79. C'est-à-dire qu'il faut 1 kilog. d'eau à 79° centig. pour liquéfier un kilog. de neige à 0°; ou, ce revient au même, 10 kilog. d'eau à 8° environ, pour liquéfier 1 kilog. de neige à 0°. Or, sur les montagnes en question, la neige superficielle est très-ordinairement au-dessous de zéro, tandis que les nuages, qui si souvent s'y résolvent en neige, ne peuvent produire des pluies à une température bien élevée. On peut donc dire que les eaux de fusion provenant des pluies, sont 10 fois moins considérables que celles des pluies qui ont déterminé la fusion. C'est-à-dire que, dans une inondation, le volume de l'eau de fusion est négligeable par rapport à celui de l'eau de pluie.

On s'étonnera, peut-être, qu'à propos de préservatifs, j'aie parlé de la fonte des neiges. Il s'agissait de répondre à une objection, et je ne pouvais classer la fonte des neiges parmi les causes principales et immédiates des inondations. Dans un autre mémoire, je dirai pourquoi les principaux fleuves ont généralement leurs sources dans les pays de montagnes.

§ 3. Différentes sortes de barrages.

On a déjà pu voir que je ne suis pas partisan des barrages fixes. J'aurais cependant insisté davantage si pour remédier aux inondations il eût été nécessaire de supprimer les barrages. Il aurait fallu faire le bilan des désastres qui en résultent pour les populations riveraines et des avantages qu'en retirent l'industrie et le commerce qui auraient beaucoup à souffrir si, la navigation étant supprimée avec les barrages, les transports tombaient complètement à la merci des compagnies de chemins de fer. Nous aurions balancé s'il était plus à propos de supprimer les barrages en laissant le commerce et les usiniers suppléer par d'autres moyens à ce qu'ils perdraient par la suppression des chutes d'eau ; ou bien s'il ne serait pas convenable de placer sur ceux qui en bénéficient directement, des charges assez lourdes pour fournir à l'Etat de quoi venir en aide à ceux qui ont à en souffrir. Ce bilan est parfaitement inutile pour deux raisons: 1° Toute compensation serait dérisoire en présence des désastres immenses et irréparables que les barrages fixes préparent pour l'avenir ; 2° Il n'est point nécessaire de supprimer les chutes

d'eau : il suffit, comme nous allons le voir, de remplacer les barrages fixes actuels par des barrages mobiles convenables.

Mais, dira-t-on, les barrages mobiles ne sont pas une nouveauté. M. Poirée en a fait l'application dès 1834 ; M. Thénard et ensuite M. Chanoine, les ont perfectionnés ; enfin, M. Desfontaines, ainsi que plusieurs autres, les ont rendus plus ou moins automobiles, et, malgré tous ces perfectionnements, on fait encore des barrages fixes parce que la difficulté avec laquelle fonctionnent les barrages mobiles, et leur peu de durée en rendent l'application très-difficile et la généralisation impossible.

Les raisons qui ont empêché de généraliser ces barrages sont fondées : les barrages de MM. Poirée et Chanoine demandent l'intervention de l'homme pour les ouvrir ; le radier de ceux de M. Desfontaines est un véritable barrage. Tous, en outre de leur prix considérable, présentent de graves inconvénients : ou ils sont sujets à s'ensabler et par suite à ne pas s'ouvrir au moment nécessaire, leur mécanisme compliqué et fragile se dérange facilement et leur axe horizontal et perpendiculaire au courant ne peut résister à la violence de celui-ci, etc. Il est impossible de gouverner les rivières avec de pareilles machines. Enfin il n'existe nulle part, que je sache, des barrages qui présentent des garanties suffisantes, pour en permettre la généralisation.

Ceux que je propose n'ont pas les inconvénients des barrages actuels ; je ne dirai pas qu'il est impossible de les perfectionner dans tel ou tel cas particulier, mais il n'en est pas, je crois, de plus simple, plus économique, plus solide, plus propre à régler le régime des eaux et à satisfaire à toutes les exigences. L'emploi de mes barrages peut généralement suffire à prévenir les atterrissements, détruire ceux qui existent et procurer une vitesse suffisante pour empêcher les crues.

Quelques-uns s'étonneront peut-être qu'on puisse obtenir de tels résultats par un moyen aussi simple ; pour moi, je trouve que les inondations sont un mal assez ordinaire pour qu'il soit préférable d'éviter, quand on le peut, de recourir à l'extraordinaire pour y remédier. Je regarde comme un avantage qui n'est pas à dédaigner, qu'un préservatif ait jusqu'à un certain point, la sanction de l'expérience. Depuis des siècles on parcourait les mers avant Christophe Colomb ; il n'en a pas moins fait une découverte.

Partout où l'on est exposé soit aux inondations, soit aux atterrissements qui les préparent, on ne devra employer que des barrages automoteurs. Ceux que je propose sont de deux sortes : les uns sont surtout destinés à régler le régime des rivières en amont de l'embouchure ; les autres à empêcher les barres de l'embouchure et l'introduction des eaux de la marée. Parlons d'abord des premiers (1).

§ 4. Description des barrages astatiques (2) à niveau constant.

Chaque barrage se composera d'une suite de doubles portes que nous allons nommer vannes astatiques, bien que leur indifférence ne soit pas absolue puisqu'elles seront de plus automotrices. La largeur de chaque porte sera suffisante pour le passage des bateaux ou des navires. Ces vannes astatiques seront assez nombreuses pour aller d'une rive à l'autre, soit seules, soit avec une écluse à sac, dont les portes pourront également être astatiques.

La figure 3 représente l'élévation, et la figure 4, une coupe horizontale d'une vanne astatique. Ces figures sont seulement théoriques. Les détails y sont supprimés et certaines dimensions y sont un peu forcées afin de rendre le jeu du système plus apparent. (3).

Les flèches indiquent la direction du courant de la rivière.

D et G sont les vantaux de droite et de gauche. Ces vantaux sont invariablement reliés entre eux. Ils peuvent tourner d'environ 75 degrés avec un axe AA', ou autour de cet axe, ou même au moyen de gonds ou de tout autre mode de rotation.

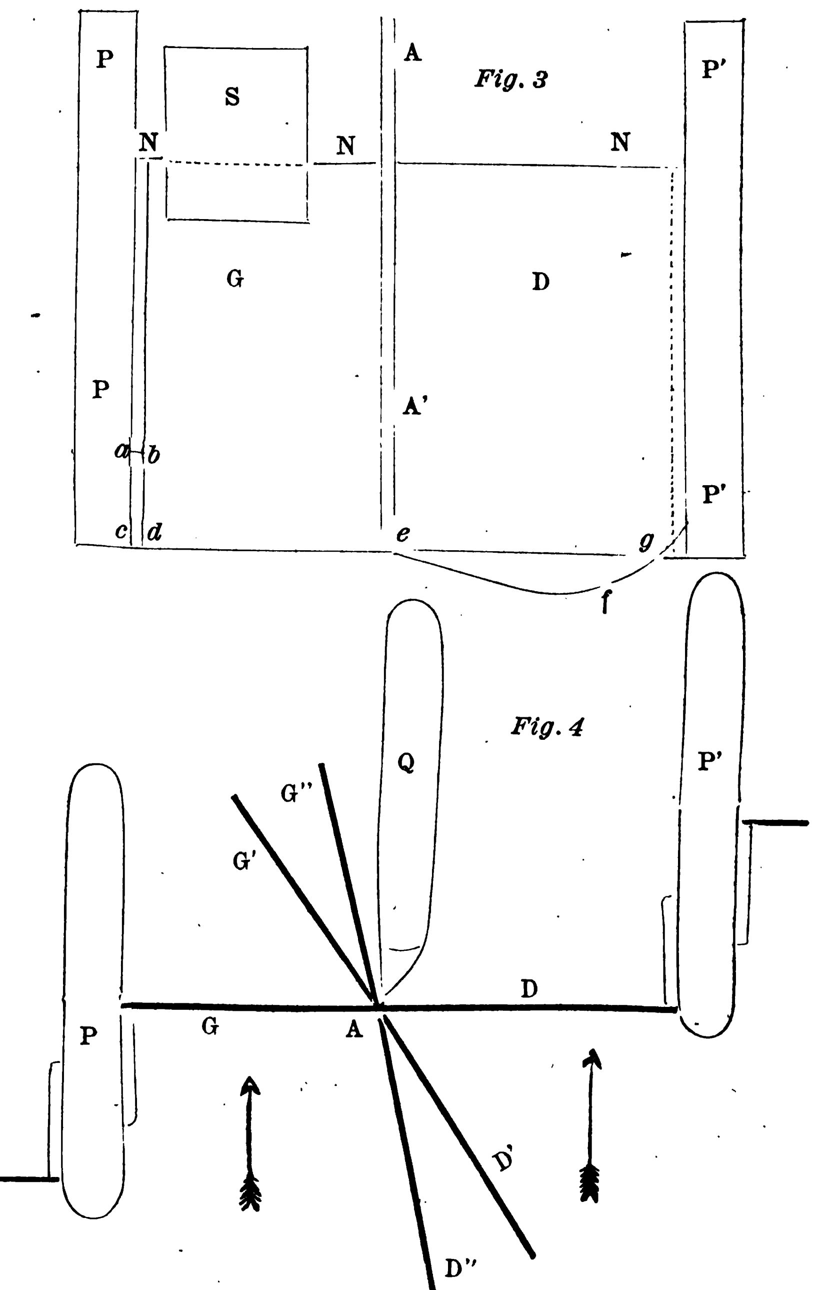
P et P' sont les piles contre lesquelles viennent battre les vantaux.

---

(1) On prend des brevets pour des choses moins importantes que les barrages que je propose. Pour moi, je laisse les miens dans le domaine public. Celui-là serait un malhonnête homme, digne du mépris de tous, qui, pour un bénéfice particulier, songerait à mettre des entraves à la réalisation d'un système que le bien public réclame impérieusement. Il serait coupable des malheurs à la préservation desquels il aurait mis des obstacles.

(2) Le terme *astatique* est employé ici comme dans le galvanomètre multiplicateur pour désigner la grande sensibilité du système.

(3) M. Pignères, compositeur chez son frère, s'étant chargé d'établir ces figures en caractères typographiques, m'a évité de recourir à des clichés, procédé coûteux quand on ne peut risquer le tirage que d'un petit nombre d'exemplaires.


P
S
A
Fig. 3
P'
N
N
N
G
D
P
A'
a
b
P'
c
d
e
g
f
Fig. 4
Q
P'
G''
G'
D
P
G
A
D'
D''

Q représente une pile qui supporte les gonds, tourillons, ou autres pièces fixes au moyen desquelles se fait la rotation de la double porte.

Le vantail G est surmonté d'un supplément S qui s'élève au-dessus de la hauteur normale NN du barrage. Ce supplément est muni d'une coulisse ou de tout autre système qui permet de faire varier sa distance à l'axe. Cette distance sera arrêtée une fois pour longtemps ; elle ne sera changée qu'à de longs intervalles, chaque année, par exemple, si l'expérience en montre l'utilité.

Le vantail D est un peu plus large que le vantail G ; mais celui-ci augmenté de son supplément présente une surface plus large que celle du vantail D. Lorsque l'eau d'amont agit sur le supplément, la pression que supporte le vantail G surpasse celle qui s'exerce sur le vantail D.

§ 5. **Jeu du barrage astatique à niveau constant.**

Si les deux vantaux étaient égaux le système serait indifférent et tout à fait astatique malgré les pressions considérables qu'il supporte ; la pression d'amont agissant en D pour le fermer et en G pour l'ouvrir.

Le vantail D étant plus large, lorsque l'eau d'amont ne dépasse pas le niveau normal NN, l'excès de pression en D gouverne le système qui alors reste fermé, c'est-à-dire dans la position D G *(fig. 4)*.

Si le niveau d'amont s'élève davantage, la pression agissant sur le supplément S, le vantail G devient plus puissant et le système s'ouvre en prenant successivement les positions D'G', D''G'' *(fig. 4)*. Un obstacle fixe empêche le système de parcourir un angle de plus de 70 à 80 degrés.

Dès que, par suite de l'ouverture des vannes ou pour toute autre cause, l'eau sera redescendue au niveau normal, la pression provenant du poids du liquide et de la vitesse du courant étant plus grande sur le vantail plus large déterminera la fermeture à laquelle contribueront aussi les remous verticaux placés entre la pile Q et le vantail G''

Si le débit de la rivière surpasse la consommation des usines, écluses de navigation, dérivations pour irrigations, etc. ; mais que ce débit ne soit pas extraordinaire, le niveau d'amont se maintiendra sensiblement à la hauteur normale

par une suite d'intermittences plus ou moins rapides de mouvements d'ouverture et de fermeture.

Si la crue est plus considérable, toutes les vannes se maintiennent ouvertes et les eaux s'écoulent ayant à leur service la déclivité et la profondeur naturelles du lit de la rivière. Des crues fort graves aujourd'hui, obligées qu'elles sont de s'écouler en entier au-dessus des barrages passeront presque inaperçues alors que, dès leur apparition, elles auront, pour s'écouler un canal de plusieurs mètres de profondeur en plus, lequel, par une plus grande hauteur hydraulique, produit une plus grande vitesse en outre de l'accroissement provenant de l'augmentation de la déclivité en amont, et la suppression des remous en aval.

Si la crue devient assez forte pour que les deux biefs soient au même niveau, ce qui après l'application de mon système arrivera rarement, le courant agira par *sa vitesse* sur la plus grande surface du vantail à supplément et maintiendra la vanne ouverte jusqu'à ce que le niveau, redescendant à la hauteur normale, le vantail plus large mais moins élevé l'emporte et ferme le système.

Si le courant devient plus faible que la consommation, le barrage conservera jusqu'à la hauteur du niveau normal l'eau qui à certains moments n'est point dépensée. Beaucoup d'usines ne travaillent point pendant la nuit, l'eau économisée pendant ce temps sera utilisée pour le travail du lendemain.

L'écoulement ordinaire de l'eau qui ne sera point utilisée pour les dérivations, usines, etc., se fera par les vannes ouvertes et non au-dessus des barrages comme aujourd'hui.

§ 6. **Application des barrages astatiques à divers atterrissements.**

Voyons maintenant comment les barrages astatiques peuvent empêcher les atterrissements dans le lit des rivières ; nous verrons ensuite comment nous pourrons nous préserver des barres des embouchures.

Voulons nous approfondir la rivière en un point donné, par exemple, vers un élargissement où, la vitesse étant diminuée, le fond s'élève chaque jour aux dépens de berges? Un barrage astatique sera établi en ce point. Le niveau de la crête N

sera le même dans toute la largeur de la rivière; mais vers le milieu du courant, par exemple, les suppléments seront plus éloignés de l'axe et par suite plus puissants, la pression y agissant comme à l'extrémité d'un bras de levier plus long. Par cette disposition, les vannes du milieu seront les premières ouvertes, c'est par là que l'eau non utilisée s'écoulera en tout temps, et avec une vitesse déterminée par hauteur des eaux retenues, c'est là surtout que se produira l'érosion du fond, la vitesse y étant presque constamment celle des crues d'aujourd'hui. Les vannes plus éloignées du milieu du courant ne s'ouvriront qu'en cas d'insuffisance de celles du milieu ; et seulement après qu'un niveau un peu plus élevé aura augmenté la surface active des suppléments de manière à y compenser par une plus grande pression le désavantage de leur position plus rapprochée de l'axe.

On pourrait provoquer également l'ouverture de certaines vannes avant les autres par des suppléments plus larges, ou encore en y faisant moins grande la différence de largeur des portes, c'est-à-dire en les rendant plus astatiques.

Les atterrissements des confluents et autres semblables, se traiteront comme ceux des élargissements.

L'expérience montrera quelle disposition il faut donner aux suppléments selon l'étendue et la position du fond à draguer.

La vitesse d'érosion s'exerçant en tout temps, soit au milieu du courant, soit en tel autre point opportun, la rivière s'y approfondira constamment excepté au radier plus résistant qui s'étendra sous les vannes dans toute la largeur de la rivière. Les réparations des barrages ne consisteront plus à les élever ou à draguer à grands frais pour maintenir la hauteur d'eau nécessaire à la navigation ; mais seulement à régulariser les dégradations des radiers. Je donnerai un moyen pour rendre ces réparations rares et même pour que le radier suive, si l'on veut, de lui-même, la baisse résultant de l'érosion du fond de la rivière.

Les réparations occasionnées presque uniquement par l'érosion des radiers seront très-rares dans les rivières d'un débit assez considérable pour qu'on n'ait pas besoin de barrages très-étanches, Je donnerai les moyens de supprimer presque complètement ces réparations.

§ 7. Application des barrages astatiques aux sinuosités des cours d'eau.

Les sinuosités se traiteront à peu près comme les élargissements. Il suffit d'un peu de réflexion pour voir comment on agira dans les divers cas qui peuvent se présenter. Ainsi, par exemple, il conviendra généralement de rendre plus puissants les suppléments placés du côté de la rive convexe afin de favoriser la rectification de la rivière en attaquant cette rive convexe et éloignant le courant ordinaire de la rive concave (fig. 2, p. 45). Lorsqu'un détour formera une presqu'île dont l'isthme sera très-étroit comme en *a o* (fig. 2), si le terrain n'est pas trop élevé, il sera très-utile d'y ouvrir un canal dans lequel on fera passer les eaux en tout temps, le courant doué en ce lieu d'une vitesse plus considérable achèvera lui-même de creuser le canal. Ce nouveau lit achevé, l'ancien pourra être transformé en prairie naturelle où les eaux pourront être introduites au moyen d'un barrage astatique au moment des plus grandes crues. On pourra conserver dans une portion de l'ancien lit une dérivation partielle pour le service des usines qui s'y seraient déjà établies, pour les irrigations, les populations. etc.

§ 8. Application des barrages astatiques à niveau constant à l'assèchement des marais.

La possibilité d'élever impunément le niveau de la rivière par suite de facilité avec laquelle le barrage s'ouvrira au moment des crues, nous permet de déposer les alluvions des crues sur les terrains aujourd'hui marécageux. Il suffira pour cela que, les récoltes enlevées, nous élevions le barrage à un niveau supérieur en y ajoutant des allonges au-dessus desquelles seront placés les suppléments ordinaires, alors la rivière s'élargira de tous les terrains situés à un niveau inférieur aux suppléments.

La rivière, prenant alors un très-grand développement en largeur, la vitesse y sera diminuée dans la même proportion. Non-seulement il n'y aura pas d'érosion, mais l'eau abandonnera toutes les substances étrangères qu'elle a entraînées à l'état de mélange. Ces dépôts se divisant sur une grande étendue de terres, seront peu abondants en chaque point et

ce ne sera que par leur répétition qu'ils produiront des exhaussements; néanmoins la succession constante de ces faibles exhaussements jointe à l'érosion du fond de la rivière assainira rapidement les terres marécageuses (1). Pendant l'épanchement du lit de la rivière le barrage étant plus élevé que les terres voisines l'eau se renouvellera peu dans le lit normal et les alluvions y seront très-faibles, car elles seront disséminèes de chaque côté sur une large étendue. Le barrage s'ouvrant pendant les crues, la profondeur et la vitesse y seront plus grandes qu'ailleurs et enlèveront au-delà des apports récents. Pendant l'été, les allonges seront enlevées pour permettre la culture des terres riveraines, et la rivière rentrera dans son lit qu'elle continuera d'approfondir. Des étendues considérables de terres acquerront ainsi une valeur plus considérable.

Nous n'aurons pas à craindre d'émanations malsaines, car nous n'inonderont ainsi les terres que pendant l'hiver, et de plus, nous pourrons en retirer l'eau aussi fréquemment que nous voudrons si nous avons craindre quelque chose, soit de la gelée, soit d'un séjour trop prolongé des plantes sous l'eau, soit de ramollissement des terres pour les plantations d'arbres etc. Le mieux sera de ne pas exiger prématurément de ces terres plus qu'elles ne pourront donner. Il sera généralement préférable d'y faire des prairies naturelles qui, à raison des limons fertilisants, n'auront jamais besoin d'engrais, et qui ne demanderont d'autre travail que celui des rigoles d'irrigation et de la récolte. Ces prairies seront souvent plus lucratives que d'excellentes terres à blé.

§ 9 **Que deviennent les alluvions ?**

Ici peut se présenter une objection. N'est-il pas à craindre que la plus grande vitesse créée au barrage ne se communique qu'à une faible distance et que chaque barrage ne puisse ainsi draguer que quelques centaines de mètres ?

---

(1) Vers 1860 M. de Lavayssière, agronome remarquable à Volvic (Puy-de-Dôme) a amélioré par un procédé analogue une prairie basse qui ne produisait auparavant que des joncs et des herbes de mauvaise qualité. Il y a conduit les eaux pluviales d'un petit bois voisin qui y ont amené des limons fertilisants ; peu de jours après chaque pluie l'herbe avait percé ce limon, le gazon s'était reformé, et, en quelques années, le niveau s'était élevé de plusieurs mètres comme l'attestaient des saules dont on ne voyait plus que la tête.



Alors même que l'objection serait fondée, il ne serait pas indifférent de restituer aux rivières la profondeur que leur enlèvent aujourd'hui les barrages fixes. Il ne serait pas indifférent non plus d'empêcher les dépôts si nuisibles en amont des barrages fixes, et de pouvoir exhausser les rives en y transportant les alluvions. Mais l'objection est facile à réfuter : je ne prétends pas que le lendemain de l'établissement des barrages astatiques, chaque grain de sable sera emporté sans désemparer jusqu'au-delà de l'embouchure et que, immédiatement, les rivières seront suffisamment draguées. Si la vitesse était uniforme depuis les sources jusqu'à la mer, le dragage y serait aussi uniforme, et les alluvions déplacées constamment gagneraient uniformément vers la mer ; mais il n'est pas nécessaire que les barrages astatiques soient très-rapprochés, il suffit qu'ils soient placés aux points où les atterrissement, se forment de préférence, c'est-à-dire à peu près aux lieux où sont placés les barrages actuels établis pour y procurer une plus grande hauteur d'eau. En un mot, partout où nous augmentons la vitesse nous emportons les sables, ils avancent sinon régulièrement au moins constamment vers l'embouchure.

Il n'y a donc pas lieu de craindre que les atterrissements ne soient que transportés *seulement un peu* plus bas, car la transformation des barrages ne diminue nulle part dans le sens longitudinal la vitesse d'écoulement et par conséquent elle ne favorise point plus bas le dépôt des alluvions. La vitesse étant généralement augmentée d'un bout à l'autre de la rivière, les alluvions y seront emportées plus facilement, et les dépôts seront partout plus difficiles qu'aujourd'hui.

L'approfondissement du lit sera progressif et demandera plus ou moins de temps selon l'usage qu'on fera des barrages astatiques. Aussitôt après leur établissement le fond de la rivière se creusera en son milieu dans le voisinage du barrage, la plus grande profondeur hydraulique qui résultera de cette érosion produira elle-même une augmentation de vitesse qui conservée par l'inertie prolongera plus au loin l'érosion. Par une réaction continue de la vitesse et de l'érosion l'approfondissement se prolongera et s'accroîtra chaque jour ; mais dès le lendemain de la transformation des barrages le travail d'érosion deviendra évident par la couleur des eaux jusqu'à l'embouchure, à moins que des barrages fixes ou des barres naturelles

équivalentes, non pourvues des barrages astatiques, ne viennent supprimer la vitesse.

Il n'est pas davantage à craindre que les sables que nous enlevons au milieu du courant ne se déposent près des rives et ne continuent à supprimer une partie du lit de la rivière.

En effet, d'abord en l'absence des crues, les eaux charrient peu d'alluvions et par conséquent n'en peuvent déposer beaucoup. De plus, si l'eau est dépourvue de vitesse près des berges, elle ne s'y renouvelle presque point, et, par conséquent, il ne peut y avoir beaucoup d'apports. Enfin, pendant les crues le barrage est ouvert, et, la vitesse de la crue dégradant le fond, enlève près des rives plus qu'il n'a pu être déposé en temps ordinaire. Il n'est pas craindre davantage que les alluvions charriées pendant les crues moyennes ne se déposent comme un cordon de chaque côté du fort courant central, si un cordon pouvait être formé à un certain moment il serait enlevé en un autre ; mais il ne pourra pas même se former, car l'approfondissement du milieu rendra les parties latérales moins solides et elles s'écouleront d'elles-mêmes vers le milieu, pour être entraînées plus loin vers l'embouchure.

Nous allons voir dans les paragraphes suivants ce que les alluvions deviendront à l'embouchure.

§ 10. Application des barrages astatiques à l'embouchure des fleuves lorsque la mer n'a point de marées. Embouchure du Rhône.

Je regrette de ne pas avoir observé moi-même les particularités que présente l'embouchure de chacun de nos fleuves. Je serai moins précis que je le désirerais. Néanmoins je pense que les aperçus généraux que je vais exposer sont fondés, comme je suis persuadé que mes préservatifs sont efficaces.

Lorsque la mer, comme la Méditerranée, n'a pas de marées considérables, les atterrissements de l'embouchure peuvent se traiter comme ceux des élargissements des rivières. Il suffit de concentrer le fleuve sur la barre qu'il faut ouvrir ou arrêter. Ainsi, hors des crues, le Rhône ne devra conserver qu'un des bras de son embouchure. Les alluvions seront abandonnées dans la mer extérieurement au dernier barrage placé le plus loin possible. Une partie des alluvions se déposera à droite et à gauche aux points où la vitesse du fleuve est

détruite par la résistance latérale de la mer. Cette partie continuera le delta; l'autre partie suivra le courant et sera portée plus avant dans la mer dont la profondeur croît rapidement. Je trouve sur une carte hypsométrique cette profondeur de 50 mètres à une distance assez rapprochée de l'embouchure actuelle.

Cette proximité, d'une profondeur considérable, jointe à la concentration du courant de corrosion suffit à nous délivrer de toute inquiétude pour des siècles. Si nous savons le concentrer, le courant saura aussi se frayer un passage, et le passage qui lui sera suffisant le sera également pour les navires. Pendant les crues, les barrages s'ouvrant, le fleuve retrouvera le bras abandonné et ses passages les plus spacieux. La facilité avec laquelle nous pouvons régler le niveau des eaux au moyen des suppléments, nous permettra même de précipiter les alluvions des crues dans les marécages de la Camargue si nous en reconnaissons l'utilité; nous aurons pu déterminer d'avance la limite des terres où nos barrages porteront l'inondation qui doit élever le sol et assurer l'avenir.

§ 11. **Barrages de l'embouchure lorsque la mer a des marées. Application à la Gironde.**

Voyons maintenant ce qui se passe à l'embouchure de la Gironde.

Quoique le marée fasse quelquefois remonter ce fleuve jusqu'à 130 kilomètres de son embouchure, c'est-à-dire près du quart de son parcours, la barre se trouve cependant vers le rocher de Cordouan. Cela tient évidemment à l'exiguïté relative, 6 kilomètres, que présente l'entrée du large canal de la Gironde et au peu de hauteur des marées, qui à Cordouan ne dépassent guère $2^m.25$ au-dessus de la mer moyenne. Une quantité d'eau relativement petite pénètre dans la Gironde et s'étale dans ce vaste canal horizontal, large en certains endroits de 12 kilomètres. La vitesse de la marée montante est considérablement diminuée jusqu'au Bec d'Ambez et les sables apportés par la mer se trouvant disséminés sur une étendue considérable n'y produisent encore que des bancs qui empêchent les paquebots transatlantiques d'arriver jusqu'à Bordeaux.

A le marée descendante au contraire les eaux de l'Océan

qui ont pénétré dans la Gironde se précipiteut à l'embouchure avec une force augmentée par l'addition des eaux des fleuves retenues ou refoulées pendant 5 à 6 heures. Elles reprennent les alluvions qu'elles ont abandonnées et les transportent avec celles du fleuve à l'embouchure. Une partie est arrêtée par la pointe de Graves qui gagne ainsi à l'est. L'autre partie passe entre la pointe de Graves et la pointe de Coudre et va former une barre à Cordouan au lieu où la vitesse de la Gironde est détruite par la résistance de la mer.

Puisque c'est la marée descendante qui forme la barre et en détermine la position, le cas est sensiblement le même qui si nous n'avions pas de marées. Mais puisque c'est la marée montante qui occasionne les dépôts de la marée descendante, nous avons avant tout à nous préserver de la marée montante.

Nous établirons à la pointe de Graves une jetée et un barrage qui ne permettront pas à la marée montante de pénétrer dans la Gironde. Ils retiendront, il est vrai, les eaux du fleuve, mais aujourd'hui elles sont non-seulement retenues, mais encore repoussées au loin en amont, cédant leur place à celles de la mer. L'absence de celles-ci laissera un espace plus considérable pour celles du fleuve, espace précieux au moment des crues. Il suffit que la partie astatique soit largement suffisante pour l'écoulement des eaux qui peuvent se présenter au Bec d'Ambez.

Ce barrage diffèrera quelque peu de celui déjà décrit car il faut qu'il retienne les eaux de la marée montante dont la hauteur est variable et que cependant il cède à celle du fleuve dès que celles de l'Océan cesseront de s'opposer à leur écoulement. Il sera encore astatique, sa hauteur sera constante, elle égalera celle des plus hautes marées augmentées des remous. Les vannes seront dépourvues de suppléments mais leurs vantaux seront encore d'une largeur un peu inégale. Le niveau des eaux ne peut plus être constant, car nous ne pouvons régler le niveau de l'Océan.

Pour nous servir des mêmes figures (p. 77), supposons que les flèches désignent le courant de la marée montante. Lorsque le fleuve est plus puissant il agit sur le vantail large D pour faire ouvrir le système. Si, au contraire, c'est la marée qui est plus forte, elle agit sur le même vantail pour

produire et maintenir la fermeture. Ce mouvement, il est vrai, ne nécessite pas une vanne astatique à deux vantaux ; mais celle-ci étant très-utile pour la navigation, les réparations, etc. ; nous l'emploierons.

Si les deux vantaux étaient égaux, le système serait absolument astatique et sa manœuvre ne présenterait d'autre résistance que celle du frottement de l'axe ou des gonds, un homme pourrait la faire facilement, mais aussi, le courant agissant également sur les deux vantaux, ne pourrait jamais vaincre lui-même cette faible résistance. Il est donc nécessaire que les deux vantaux soient un peu inégaux. Le frottement de leur axe sera vaincu par l'un et l'autre courant d'autant plus facilement que la différence de largeur des vantaux sera plus grande. En faisant varier cette différence nous pouvons rendre certaines vannes plus mobiles que d'autres et favoriser l'érosion aux points qu'il nous plaira.

§ 12. **Autres ouvrages à établir à l'embouchure de la Gironde.**

Des barrages astatiques pourraient encore être établis dans le cours de la Gironde afin d'en balayer les sables qui l'encombrent et de la transformer en un beau port.

Je proposerai encore un autre ouvrage qui me paraît de la plus grande importance pour ne pas dire de la plus grande nécessité.

« De 1752 à 1842 (1), la pointe de Graves a disparu sur une longueur de 1,200 mètres », aujourd'hui, protégée par une jetée, elle ne se défend que difficilement. La cause de la disparition de ce promontoire est surtout le choc presque incessant des eaux de la mer ou du fleuve qui la contournent soit à la marée montante, soit à la marée descendante. La destruction de ce promontoire nous donnerait bientôt une barre entre Royan et Bordeaux. Ce serait la perte assurée des deux départements de la Gironde et des Landes. Il suffirait d'une crue un peu considérable pour en inonder à jamais, peut-être, une partie considérable.

Pour prévenir ce désastre, il faut en supprimer la cause. Le barrage et la jetée à l'entrée de la Gironde, empêchant

(1) Bulletin de la Société de Géographie. Septembre 1875.

l'introduction et par suite la sortie des eaux de la marée, supprimeront une partie de cette cause. Il ne faut pas s'en tenir là.

Ce qui nuit surtout à la conservation du promontoire, c'est la passe de Cordouan; il faut la supprimer au moyen d'une jetée de 10 kilomètres. Cette passe ne peut être très-ancienne et par suite très-profonde, car il résulte d'anciens monuments, que vers 1500, Cordouan n'était séparé du continent que par un passage étroit guéable à la marée basse (1). En réunissant Cordouan au continent ce serait ce rocher qui supporterait principalement le choc des vagues.

Une partie considérable du département de la Gironde et du département des Landes est presque au niveau de la mer. Presque toutes les eaux de ces départements qui ne rendent pas dans l'Adour, le bassin d'Arcachon ou la Garonne, sont arrêtées par les dunes et ne disparaissent guère que par l'évaporation. Le rivage paraît s'affaisser en plusieurs points et la mer s'avance assez rapidement. Comme nous l'avons déjà vu (p. 65), ces départements sont donc menacés de plusieurs manières, il faudrait bien peu en plus dans les crues, les affaissements, les barres de sable, les barres d'eau, les dunes, etc., etc., pour qu'ils fussent inondés en grande partie. Il importe donc de procurer autant que possible la corrosion des barres et l'écoulement rapide des eaux.

Ces deux départements se partagent entre trois bassins: celui de la Garonne ou de la Gironde, celui d'Arcachon et celui de l'Adour. Les collines qui séparent celui de l'Adour de celui d'Arcachon me paraissent peu élevées, et les côteaux du Médoc qui séparent celui de la Gironde de celui d'Arcachon sont en plusieurs points très-bas. Il me semble qu'il serait avantageux d'établir des communications entre ces trois bassins en ouvrant des tranchées aux points les plus attaquables, et de traiter les landes, chaque hiver, comme nous avons vu (p. 81). De petits terrassements de 60 centimètres environ de hauteur protégeraient les villages et les habitations. Des barrages seraient établis pour introduire à la marée montante les eaux de la Gironde sur les terres basses; on en réglerait la direction et la quantité selon les lieux, et on les lais-

(1) Bulletin de la Société de Géographie. Septembre 1875.

serait sortir des landes en un point opposé à la marée descendante, à Arcachon ou à l'embouchure de l'Adour, par exemple.

Cette combinaison aurait l'avantage de diminuer le volume des eaux dans la Gironde et dans la Garonne pendant la haute mer, et de déposer les sables en lieu utile. On exhausserait ainsi peu à peu chaque année les landes par un limon fécond et ce pays deviendrait une des contrées les plus fertiles de la France. Les petits terrassements qui protégeraient les habitations seraient entretenus par les habitants eux-mêmes en relevant les terres voisines. Les petits fossés que ce travail nécessiterait du côté immergé s'effaceraient à mesure par les sables et limons apportés. L'intérieur des villes et des villages s'élèverait naturellement par le soin que chacun aurait d'y conserver les décombres provenant des démolitions, les cendres du foyer, etc., on pourrait même y transporter des terres prises dans le voisinage et apportées jusque-là par les eaux.

Il va sans dire que ce projet d'assainissement requiert une étude consciencieuse sur les lieux. Ne les connaissant que par des descriptions incomplètes, je puis bien affirmer la possibilité des ouvrages que je propose, mais je ne puis ni en évaluer la dépense, ni en préciser davantage le mode d'exécution.

Toutefois il faut reconnaître que les sacrifices que je propose, soit pour l'embouchure de la Gironde, soit pour l'assainissement des Landes sont considérables ; mais les avantages le sont aussi, et il est moins difficile de prévenir le mal que de le réparer.

D'ailleurs ces sacrifices paraissent minimes si on les comparent à ceux qu'exigent d'autres ouvrages analogues.

Le chef de l'Etat et les représentants de la nation à qui incombent le droit et le devoir de balancer nos charges et nos ressources, doivent, en dernière analyse, déterminer quels projets il convient d'adopter et dans quelle mesure.

§ 13. **Embouchure de la Loire.**

La Loire est sujette à de fréquents débordements, malgré les digues nombreuses destinées à protéger ses rives. Les sables qu'elle charrie et qui se déplacent constamment y rendent la navigation si difficile qu'il a fallu creuser, comme à la Garonne, un canal latéral de 200 kilomètres.

Les débordements de la Loire ont pour cause, avec l'éten-

due de son bassin, son peu de déclivité et le peu de profondeur d'un lit embarrassé par une mullitude d'îlots et d'atterrissements ; cette réunion de circonstances ne permet pas aux eaux des crues de s'écouler assez rapidement. La forme de l'embouchure fait aussi que la marée vient encore aggraver la situation.

L'altitude de la source du fleuve est de 1,400 mètres. Son parcours est d'environ 1,000 kilomètres (1) ; mais à Roanne, situé à 200 kilomètres environ de la source, l'altitude n'est plus que d'environ 280 mètres, et il reste encore plus de 700 kilomètres ; c'est seulement en moyenne environ un 0m 0004 par mètre. La déclivité diminue jusqu'à l'embouchure.

Vers son embouchure, la Loire s'étend en un vaste canal de 4 kilomètres environ de largeur sur une longueur de 20 kilomètres. Ce canal se termine par une large baie angulaire, dont l'entrée est de 10 kilomètres environ. Les eaux de la marée montante entrent largement et se pressent d'abord dans la baie ; elles s'étendent ensuite dans le large canal qui la suit et qui reçoit alors d'un côté les eaux du fleuve, de l'autre celles de la marée.

Par suite de cette disposition la barre se forme à la marée montante comme à la marée decendante. Celle de la marée montante est nécessairement dans l'intérieur du fleuve ; celle de la marée descendante s'y trouve aussi, car les eaux du fleuve ne peuvent conserver longtemps leur faible vitesse dans cette vaste embouchure. Ces deux barres forment comme une barre unique qui s'étend de Nantes à Paimbœuf.

C'est en vain que nous continuerons d'endiguer ce beau fleuve si nous laissons s'élever davantage l'atterrissement qui va en arrêter les eaux avant leur entrée dans l'Océan. Bientôt nos plaines les plus fertiles deviendront inhabitables.

La marée est un peu plus haute qu'à Royan ; cependaut la différence est peu considérable : la moyenne des grandes marées au-dessus du niveau moyen de la mer est 2m 68. C'est presque uniquement à la disposition de l'embouchure qu'est due la différence qui existe entre la barre de ce fleuve et celle de la Gironde. Si l'entrée était plus étroite l'atterrissement ne se formerait que pendant la marée descendante et par conséquent en pleine mer.

(1) Annuaire du Bureau des Longitudes.

C'est donc encore une jetée à faire pour donner à l'embouchure de la Loire la disposition de celle de la Gironde et un barrage astatique sans suppléments pour empêcher l'introduction de l'eau de la marée dans le fleuve. Ce barrage sera exactement dans les mêmes conditions que celui de l'embouchure de la Gironde. Nous l'établirons entre St-Nazaire et Paimbœuf.

Par suite de cette disposition la barre ne pourra plus se former à l'intérieur et la plus grande vitesse du courant concentrée pendant la marée descendante nous permettra de pousser l'atterrissement assez avant en pleine mer pour nous délivrer de toute inquiétude. Les eaux douces et bourbeuses de la Plata se reconnaissent encore à 800 kilomètres de son embouchure, bien qu'elles aient traversé le courant équinoxial large de 300 kilomètres; celui-ci ne doit qu'à sa grande profondeur de n'être pas détourné par les eaux du fleuve. Toutefois, il s'en faut de beaucoup que la vitesse de nos fleuves puisse se maintenir aussi loin. Ce fait démontre, néanmoins, que nous pouvons la prolonger, même en pleine mer. La position de la barre de la Gironde à 10 kilomètres de l'embouchure démontre, d'ailleurs, cette possibilité pour nos fleuves.

Nous pourrons encore établir entre Nantes et Paimbœuf plusieurs barrages astatiques afin d'approfondir la barre sur une largeur suffisante pour le passage des navires. Ce passage une fois ouvert, le courant de corrosion sera déplacé de manière à déblayer le reste de la barre qui sera remplacée par un beau port.

§ 14. **Embouchure de la Seine.**

La Seine n'est guère plus rassurante. Son altitude à partir de Paris est peu considérable (p. 67). De nombreuses sinuosités augmentent la longueur et diminuent la vitesse de ce fleuve. La marée est plus considérable qu'à Royan et à St-Nazaire. La moyenne des hautes marées au-dessus du niveau moyen de la mer est de 3^m 60. L'embouchure est angulaire et présente une entrée de 10 kilomètres de largeur. Les eaux de la marée montante pénètrent d'abord largement dans ce golfe, puis concentrées entre les rives qui se rapprochent de plus en plus, repoussées en amont par les flots de la marée qui suivent, augmentées des eaux du fleuve, elles conservent long-

temps leur vitesse qui n'est équilibrée que fort loin en amont. A la marée descendante au contraire, le canal s'élargissant sans cesse, la vitesse diminue de même, et les dépôts s'arrêtent avant leur arrivée en pleine mer. La barre qui en résulte se trouve ainsi à peu près en entier dans le fleuve et comprise entre deux points assez éloignés, celui où les vitesse s'équilibrent à la marée montante, et celui où la vitesse du fleuve est détruite à la marée descendante.

En outre, les falaises qui avoisinennt le Havre sont sujettes à des glissements et à des éboulements presque continuels. Ainsi, en septembre 1874, 10,000 mèt. cub. se sont détachés subitement de la falaise basse, et ont laissé en surplomb la falaise haute qui s'élève à plus de 100 mètres. Les roches détachées sont morcelées par les vagues et amenées par le courant d'Antifer dans la baie de la Seine. La destruction de ces falaises est un fait extrêmement grave, il est indispensable de s'en préoccuper, d'en étudier les causes sur les lieux et d'y remédier promptement.

L'embouchure de la Seine se traitera comme celle de la Loire. L'entrée du fleuve sera fermée à la marée montante par une jetée et un barrage astatique sans suppléments. Le reste du port se traitera comme celui de la Loire. Quant à la barre de Quillebœuf, avant peu il n'y aura aucune trace de cette boue qui change de position chaque jour. Dès que le courant aura toujours lieu dans le même sens, le limon déposé pendant la stagnation du fleuve sera entraîné aussitôt que les eaux de la mer, se retirant de devant le barrage de l'entrée, celui-ci livrera passage au fleuve.

Mon intention n'est pas de parler de chaque rivière en particulier. Les autres rivières comme l'Adour, la Charente, etc. seront traitées d'une manière analogue.

Comme je l'ai déjà dit, il n'y a qu'une étude consciencieuse sur les lieux qui puisse déterminer les modifications locales à faire au système que je propose. Cependant je crois avoir exposé des choses importantes et trop peu connues sur quelques causes principales des inondations, j'en ai aussi indiqué les préservatifs d'une manière générale.

Sans doute, l'exécution complète de tous ces ouvrages sur toutes nos rivières demande de grandes dépenses; mais il n'est point nécessaire de les exécuter partout simultanément. Il

peut suffire, je pense, de commencer aux points les plus urgents, et d'y employer ensuite chaque année les fonds qui se consomment aujourd'hui en aggravant la situation.

Pour prévenir les objections, je vais résumer rapidement les principaux avantages que la navigation, l'industrie et l'agriculture retireront des barrages astatiques avec et sans suppléments.

§ 15. **Résumé des avantages des barrages astatiques à suppléments et sans suppléments.**

En résumé, par les barrages astatiques nous augmentons la vitesse de plusieurs manières :

1° Les rivières jouissent en tout temps de leur déclivité et de leur vitesse naturelle sur une largeur suffisante pour l'écoulement.

2° La facilité de pouvoir dégrader les points en saillie nous permet de rendre plus uniforme la déclivité naturelle.

3° La hauteur hydraulique et la capacité du lit de la rivière sont augmentées par la corrosion constante du fond.

4° La hauteur hydraulique et la capacité sont encore augmentées par l'exhaussement des berges basses. La facilité que possèdent les barrages de s'ouvrir d'eux-mèmes permettant de placer leur faîte plus haut qu'on n'ose le faire aujourd'hui et d'amemer les alluvions sur les berges elles-mêmes.

L'augmentation de vitesse résultant de ces différentes causes, fera disparaître ces grandes différences de niveau qui existent aujourd'hui entre le temps de la sécheresse et celui des crues.

La suppression des barrages fixes fera souvent plus que doubler la capacité active du lit de la rivière.

Nous faisons disparaître les atterrissements du lit des fleuves qui, en beaucoup des lieux, rendent la navigation impossible.

Nous empêchons l'introduction dans les fleuves de ces colonnes de marée montante qui s'y précipitent aujourd'ui avec une force si considérable et quelquefois si dangereuse.

Nos vannes s'ouvrant d'elles-mêmes, nous pouvons élever leur niveau alors qu'en même temps nous approfondissons la rivière, nous nous assurons donc indéfiniment sans danger pour personne la hauteur d'eau nécessaire à la navigation.

Les gros navires pourront bientôt circuler à toute charge fort avant dans les terres, et nos principales villes de l'intérieur deviendront comme autant de ports de mer. Tandis qu'aujourd'hui même avec des canaux latéraux, le plus fort tirant d'eau de nos grande lignes navigables n'est que de 2 mètres. (1).

Les usines auront une chute plus considérable et plus constante.

Aujourd'hui, pendant les crues, la vitesse est trop grande pour la navigation. Dès que les crues passeront presque inaperçues, si la navigation est encore suspendue elle ne le sera que plus rarement et pendant un temps plus court.

Même avantage pour les usines : elles suspendront rarement leurs travaux à cause des crues.

La plus grande vitesse que nous créons par l'ouverture d'une partie des vannes ne s'étendant pas sur toute la largeur de la rivière, sinon pendant les crues, les bateaux auront le choix de la vitesse qui leur conviendra. Ils pourront par exemple, prendre à la descente, au milieu de la rivière, par les vannes ouvertes, une vitesse plus grande; et, en remontant, ils prendront par les écluses la rive presque dépourvue de vitesse.

La facilité d'établir le niveau normal des eaux aussi près qu'on voudra de celui des terres riveraines permettra de faire un plus grand usage des rivières pour les irrigations. Les eaux prises en un point seront rendues plus bas après avoir fécondé le sol sans danger pour personne.

La même facilité d'élever impunément le niveau des eaux permettra de porter, si on le désire, les alluvions des crues sur les contrées marécageuses. Celles-ci s'élevant à chaque crue pendant que la rivière s'approfondit de plus en plus, seront bientôt assainies et transformées en terrains très-productifs.

Pendant les basses eaux les dérivations pour usines, irrigations, etc. seront moins exposées à manquer d'eau. Leur approvisionnement étant plus considérable.

Enfin, et surtout, l'impossibilité des inondations croîtra de plus en plus à mesure que la vitesse augmentera et que le lit des rivières s'approfondira davantage.

En résumé, l'agriculture, la navigation, le commerce et

---

(1) Tableau des éléments de nos grandes lignes de navigation publié par la *Réforme économique* 1er janvier 1876.

l'industrie ont tout à gagner à la réalisation des préservatifs que je propose.

Si les barrages fixes sont maintenus, les inondations deviendront de plus en plus générales, la navigatien de plus en plus difficile, les chutes des usines de plus en plus faibles en attendant qu'il faille y renoncer.

A ces avantages ajoutons encore le développement que ne manquera pas de prendre l'industrie par suite de la plus grande sécurité dont jouiront les usiniers riverains. Les compagnies de chemins de fer qui ont si souvent à souffrir des inondations s'empresseront, j'aime à le croire, de contribuer, pour leur part, aux travaux qui apporteront à tous la sécurité. Enfin l'Etat pourra se couvrir en partie de ses dépenses, et se créer une source certaine de revenus par des concessions de prises d'eau aux industriels et aux agriculteurs. Enfin, comme dans un Etat tous sont participants de la prospérité et de la détresse de chacun, tous profiteront des mesures qui éloigneront de notre patrie le fléau si terrible des inondations, et, de cette prospérité plus grande résulteront des revenus plus considérables pour l'Etat.

§ 17 **Examen de quelques difficultés de détail.**

Sans doute il existe des difficultés d'exécution, toutefois rien d'impossible, rien qui n'ait été ou ne puisse être facilement résolu.

La plus grande difficulté est celle de construire sur les terrains plus ou moins mobiles d'alluvions des piliers assez résistants. Cette difficulté est résolue toutes les fois qu'on construit un pont sur une semblable nature de terrains. Il y a plus, nos piles auront très-peu de fatigue, les pressions d'amont étant en partie détruites par celles d'aval. Même, si la pression d'amont sur un vantail pousse une pile dans un sens, une autre pression d'amont sensiblement égale sur un autre vantail pousse la même pile en sens contraire. Les piles n'auront donc guère d'autre fatigue que celle qu'elles éprouveront directement du choc du courant. Cette fatigue sera faible, vu que rien ne nous oblige à leur donner une large section dans le sens transversal de la rivière. Nous pourrons même utiliser, pour nos barrages, les piles des ponts déjà existants. Pour celles-ci donc nulle difficulté. Réciproquement

nous pourrons aussi utiliser les piles de nos barrages pour établir de nouveaux ponts.

Il peut cependant se trouver des terrains si mobiles qu'on ne puisse y asseoir les piles sans de grandes difficultés; c'est ce qui aura lieu surtout pour les barrages de l'embouchure où il sera souvent presque impossible de mettre à sec la place sur laquelle on devra construire.

On pourrait employer les fondations tubulaires; mais nos barrages devant être nombreux, il faut simplifier le travail, et diminuer la dépense. Je propose le procédé suivant qui me paraît devoir généralement suffire:

Les piles et les radiers seront établis entièrement en fonte et fer. Le radier d'un barrage sera formé par parties faisant chacune un tout invariable; ces radiers partiels seront juxtaposés de manière que leur forme leur permette de résister plus facilement au courant. Ils pourront cependant baisser plus ou moins dans le sens vertical, de manière que leur ensemble suive le fond. Ils pourront être amenés et disposés en place tout construits et portant même, en partie, les piles dont la position aura été déterminée de manière que la charge de chaque radier partiel l'amène à exercer une pression égale en chaque pointdu fond sur lequel il sera placé.

A mesure de la corrosion du fond en amont et en aval du radier, les sables fuiront au-dessous de celui-ci, et, par l'effet de son propre poids, le radier suivra sensiblement la baisse du terrain sur lequel il est placé.

Ces radiers en fonte sont coûteux, il est vrai; ils le seront cependant beaucoup moins que les fondations tubulaires et que les rochers artificiels que l'on emploie pour des ouvrages analogues; ils auront de plus l'avantage de se prêter aux modifications que nous ferons subir au terrain sur lequel nous les plaçons. Les frais de fonte seront diminués en ce que les mêmes modèles serviront pour un grand nombre de pièces.

Observons que les barrages destinés à résister aux flots de la marée ont beaucoup moins de fatigue qu'il peut le sembler d'abord. Car en même temps que la marée vient se heurter contre le barrage, les eaux du fleuve s'élèvent de l'autre côté de celui-ci. Le barrage se trouve entre deux pressions contraires qui diffèrent fort peu.

On peut encore objecter la violence des tempêtes; mais cette objection est presque puérile. Les tempêtes ne peuvent être plus à craindre pour les barrages que pour les navigateurs. Autant vaudrait dire qu'il ne faut pas construire de maisons parce qu'elles peuvent être détruites par les incendies,

On peut encore se demander s'il ne se formera point contre le barrage des dépôts qui empêcheront l'ouverture ou la fermeture des vannes?

Lorsque le barrage est fermé, il s'oppose à ce que des dépôts se forment en aval. L'eau qui franchira la crête du barrage affouillera et ne déposera point.

Le barrage fermé s'oppose encore à ce qu'il se fasse en amont des dépôts embarrassants, car le barrage fermé supprime ou diminue la vitesse à une assez grande distance et les galets un peu lourds ne peuvent arriver jusqu'aux barrages, sinon pendant les crues alors que les vannes sont ouvertes.

Pendant que le barrage est ouvert il ne peut y avoir également de dépôts embarrassants, car la largeur du courant y étant diminuée par les piles, par l'obliquité des vannes ouvertes et par les vannes encore fermées, la vitesse y est augmentée, et tout galet qui aura pu être transporté jusqu'au barrage sera facilement entraîné quelques mètres plus loin par cette plus grande vitesse. Donc point de dépôts embarrassants entre les piles pendant que le barrage est ouvert.

Il pourrait y avoir, peut-être, contre la pile elle-même, quelques dépôts qui empêcheraient le contact de la vanne contre la pile et produiraient une fuite; il est facile d'y remédier. Si l'on n'a que des sables à redouter, il suffira de ne pas donner à la partie inférieure de la vanne de saillie contre la pile comme en *abdc (fig. 3)*. Si l'on doit craindre quelques galets, il suffira de donner en outre une petite courbure à la vanne et au radier comme en *efg*. Les galets ne pourront rester devant la pile, par leur propre poids ils descendront en *f* devant la vanne, à laquelle on aura ménagé assez de force pour les repousser. La difficulté n'est pas plus sérieuse pour les vannes qui ne s'ouvriront que rarement. Il est vrai que des sables légers pourront s'y amasser en amont, mais au moment du besoin ils seront balayés rapidement de proche en proche à mesure que les vannes voisines s'ouvriront. La plus grande vitesse du courant aux vannes ouvertes se communiquera aux

eaux voisines qui afflueront aux vannes ouvertes en y entraînant les sables.

Il ne faut pas craindre davantage que les sables qui ont traversé les vannes ouvertes se déposent derrière les vannes fermées ; car au sortir des vannes ouvertes les eaux ont assez de vitesse pour emporter leurs sables à une distance inoffensive, il sera d'ailleurs facile de donner aux piles assez de longueur pour que les sables qui ont passé dans une vanne ne puissent aller derrière la vanne voisine. D'ailleurs, le seul inconvénient qui en résulterait serait de retarder un peu l'ouverture, qui ne se fera pas attendre bien longtemps, l'eau ne pouvant, sans affouiller, passer par-dessus la crête du barrage.

On peut encore se demander si les corps flottants ne nuiront pas au jeu des vannes? D'abord ces corps flottants n'arrivent guère que pendant les inondations, et nous supprimons les inondations. Il est presque impossible qu'ils se présentent quand les eaux sont assez basses pour que les vannes soient fermées, et qu'ils s'opposent à l'ouverture des vannes. Si, par impossible, quelque corps flottant était apporté en amont de la vanne fermée, au moment où elle doit s'ouvrir, sa résistance dans l'eau ne pourrait être fort grande, et la vanne pourrait le repousser, s'ouvrir, et le laisser passer dans le courant plus rapide qui s'y établit aussitôt. Les corps flottants ne peuvent donc point nuire à l'ouverture des vannes qui nous préservent des inondations.

S'ils s'opposaient à la fermeture ils nuiraient aux usiniers. Voyons si cet inconvénient est à craindre.

Au moment où les vannes doivent se fermer, c'est-à-dire où les eaux sont en baisse, il est difficile que des corps flottants soient apportés. Pour qu'ils nuisent, il faut non-seulement qu'ils soient apportés, mais encore qu'ils se trouvent pris dans la vanne au moment précis de la fermeture. Ce cas est presque chimérique, d'ailleurs, le seul inconvénient qu'il présente est une perte d'eau pour les usiniers. Inutile d'ajouter des complications au barrage pour éloigner un danger ainsi insignifiant. L'usinier intéressé qui s'apercevra qu'une des vannes de son barrage n'est pas fermée lorsqu'elle doit l'être, ouvrira complètement cette vanne pendant une minute, et le corps flottant sera entraîné plus loin à moins qu'il ne plaise à l'usinier d'en faire son profit.

CHAPITRE II.

EAUX INTÉRIEURES.

§ 1. Nécessité et moyens d'une étude locale des eaux intérieures.

Nous nous sommes convaincus (p. 58) que l'obstruction des canaux d'arrivée dans les réservoirs intérieurs précipite immédiatement les eaux pluviales dans les fleuves ; mais nous avons vu aussi que les eaux souterraines, par l'affaissement de leurs voûtes (p. 63) et l'érosion de leurs plafonds, produisent des désastres immenses et irréparables. Que faire donc ? Pour échapper aux inondations passagères faudra-t-il nous résigner aux inondations permanentes ? L'alternative serait triste ; heureusement nous pourrons remédier aux unes comme aux autres. Nous ferons un choix des réservoirs intérieurs : les uns seront traités en ennemis, et les autres considérés comme des auxiliaires.

Il est donc rigoureusement nécessaire qu'on procède à une étude locale des eaux intérieures. Sans doute, cette étude n'est pas sans difficultés : elle demandera beaucoup de temps, ou plutôt, on aura toujours à la compléter et à la perfectionner ; mais les avantages considérables qu'on en retirera ne se feront pas attendre. Pour nous convaincre de la possibilité de mener cette étude à bonne fin, énumérons rapidement quelques-uns des moyens que l'on pourra employer.

On pourra commencer par réunir des cartes aussi complètes que possible des eaux extérieures et la constitution géologique du sol. La carte de l'Etat-major servira de canevas sur lequel on appliquera les cartes locales et tous les renseignements que l'on pourra réunir. C'est ainsi que M. Lecoq, professeur à la Faculté de Clermont, a dressé sa magnifique carte géologique du Puy-de-Dôme. Il l'a construite en appliquant sur la carte de l'Etat-major les notes qu'il a prises en parcourant le département dont il n'a, peut-être, pas laissé un kilomètre sans visiter.

Sans posséder des cartes aussi complètes, il est peu de

départements qui n'en aient de très-bonnes. On encouragera les officiers, les membres des divers services des ponts et chaussées, chemins de fer, vicinalité, navigation, mines, forêts, instruction publique, les sociétés savantes, les municipalités. etc., tous travaillant simultanément et leurs renseignements se contrôlant les uns les autres, on pourra promptement coordonner la plus belle somme de données géographiques qui ait, peut-être, jamais été formée.

On aura un compte ouvert pour chacune des eaux extérieures ou intérieures un peu importantes par leur position, leur volume, leur régime, etc. ; d'autres comptes seront aussi ouverts pour les faits généraux pouvant servir à établir la provenance, les réserves, la parenté, les communications etc. Les meilleurs ouvrages seront consultés. On tiendra compte des divers phénomèmes géologiques, volcaniques, météorologiques, etc. ; la méthode se perfectionnera à mesure que les données arriveront ; il suffit qu'elle permette dès l'abord de recevoir et de classer les faits sans confusion de manière a en saisir rapidement les diverses relations, et à faire connaître les lacunes à compléter.

On ne négligera aucun moyen d'observation : l'aspect du sol et de la végétation, la connaissance des lieux où la neige fond plus rapidement, où une rivière gèle plus difficilement, etc., peuvent être d'un grand secours. C'est ainsi que j'ai vu découvrir la magnifique source thermale de Royat, à trois kilomètres de Clermont-Ferrand. Le curé avait remarqué que la neige ne séjournait pas en cet endroit ; il y fit creuser, et on retrouva d'anciens thermes gallo-romains qui aujourd'hui ont déjà pris place parmi nos plus célèbres eaux minérales. On poussera aussi loin que possible l'exploration des cavernes en en agrandissant, avec prudence, les étranglements et en s'aidant de sondages. Enfin on tâchera de remonter extérieurement de l'orifice des sources à leur alimentation première, et dès qu'on sera en possession d'une nappe ou d'un courant intérieur on ne négligera rien pour en avoir une carte et des profils.

Cette étude se composera donc de deux parties : l'observation et le raisonnement ; on fera marcher de pair la déduction et l'induction, et les conclusions de l'une et de l'autre seront, autant que possible, vérifiées par l'observation.

§ 2. Alimentation des réservoirs des sources.

Par l'étude des eaux intérieures, on déterminera et on classera les réservoirs. Ceux qui par leur profondeur ou leur inclinaison débouchent nécessairement dans la mer seront traités différemment de ceux qui alimentent nos sources ; même ces derniers ne seront pas tous traités de la même manière. On usera d'une grande prudence à l'égard des réservoirs spacieux en hauteur, comme les cavernes de Livernon (p. 59) surtout si leurs voûtes sont remplies de failles ou s'ils sont placés dans des terrains susceptibles d'être délayés.

On rétablira généralement l'approvisionnement des réservoirs qui ne présentent point de danger d'affaissement, comme il arrive lorsque leurs cavités n'ont qu'une médiocre profondeur et lorsqu'ils sont formés de sables ou de couches perméables. Dans ces cas, les affaissements deviennent insensibles avant de s'être transmis au sol, et ne peuvent occasionner des accidents, tout au plus pourrait-il en résulter une diminution dans la déclivité de certaines parties des cours d'eau (p. 67).

C'est ainsi que l'exploitation des mines produit des vides dont on ne songe pas à s'alarmer parce qu'ils ont peu de hauteur. Lorsque, par exemple, on rencontre une couche de houille d'une puissance de 0^{m} 50, on ouvre d'abord une galerie d'un mètre de hauteur, puis les ouvriers, travaillant de front, sortent la houille, rejettent derrière eux un demi-mètre de grès qui, étant concassé, occupe le double de place, et on ne se préoccupe pas autrement de la solidité. Il n'est pas rare qu'on se contente d'étayer avec des remblais des vides plus considérables. Je ne vois pas quelle sécurité peuvent inspirer de tels appuis lorsqu'ils ont à porter jusqu'à des centaines de mètres de roches. Evidemment les plafonds se soutiennent en vertu de leur force de cohésion, et non point en vertu de la résistance que des appuis si mobiles opposent à l'écrasement.

Quelquefois, cependant, l'étendue des plafonds ainsi soutenus est grande, un craquement se fait entendre, suivi d'un affaissement, insensible peut-être *à l'extérieur*. Une explosion de gaz est intervenue, il est difficile de dire jusqu'à quel point, dans ce mouvement de *haut en bas* de 100 ou 200 mètres de hauteur de roches. Quant à nous, nos explorations ne demandant pas de longs travaux dans l'intérieur du globe, nous tâcherons d'éviter de pareils malheurs.

Il sera facile de rétablir l'alimentation des réservoirs lorsqu'on n'aura pas à craindre d'accidents. Il suffira de pratiquer des puits absorbants qui communiquent avec les réservoirs à alimenter. Ces puits, forés généralement comme les puits artésiens, seront de préférence alignés dans le thalweg des vallées en commençant ordinairement aussi haut que possible, afin d'augmenter la capacité des réservoirs et leur utilité comme approvisionnement des sources, préservatifs des inondations et bonification des terres. La profondeur de ces puits ne sera pas ordinairement très-considérable, puisque nous devons nous garder d'alimenter les cavités trop profondes. Les avantages qu'en retirera immédiatement l'agriculture porteront beaucoup de propriétaires à se débarrasser, par ce moyen, des eaux en excès. Il sera bon d'obliger ces propriétaires à demander une autorisation ; s'il survenait quelque inconvénient, la permission serait retirée et les puits fermés.

§ 3. **Atterrissements des réservoirs intérieurs de nos sources.**

Les atterrissements des réservoirs de nos sources pourront immédiatement être diminués de beaucoup. Il suffira d'obliger les eaux à perdre leur vitesse avant leur entrée dans le puits absorbant, naturel ou artificiel, et à déposer ainsi leurs alluvions extérieurement, La dépense qui en résultera sera presque insignifiante. Elle consistera, le plus souvent, en un petit exhaussement de l'entrée ou margelle, et le sacrifice, plus ou moins temporaire et périodique, de terrains de très-médiocre étendue. Encore ce sacrifice sera le plus souvent largement compensé, car les alluvions, pourront selon leur nature, être utilisées, comme sable de construction ou de verrerie, marne pour ciment, ou pour amendement, etc., fréquemment on recueillera un limon très-fertilisant, contenant dans les proportions les plus avantageuses, l'humus et les amendements.

Ce qui précède se rapporte aux réservoirs des sources ; il est d'autres atterrissements intérieurs qu'il faut favoriser ; nous allons en étudier les moyens.

§ 4. **Préservatifs des affaissements du sol.**

Deux sortes de préservatifs pourront être employés :

nous pouvons nous proposer de faire disparaître les eaux qui minent les plafonds des réservoirs (p. 62 à 65), nous pouvons aussi favoriser les atterrissements qui suppriment les cavités nuisibles.

Les réservoirs de nos sources situés pour l'ordinaire à de faibles profondeurs ne peuvent guère donner lieu qu'à des affaissements partiels d'une gravité médiocre. Les accidents extérieurs du sol ne leur permettent guère de se prolonger au loin avec une hauteur intérieure considérable. Si des éboulements ont lieu, ils produisent généralement des accidents et non pas des désastres. Il n'en est pas de même des réservoirs situés plus profondément. La connaissance de la profondeur nous renseignera donc sur la nocuité des réservoirs. Quand l'existence d'une nappe d'eau souterraine au-dessous du niveau de la mer aura été reconnue, nous nous efforcerons d'en tarir l'alimentation et d'en épuiser les eaux le plus promptement possible. Pour cela nous suivrons extérieurement et nous remonterons la direction de cette nappe jusqu'aux lieux où elle s'alimente afin de donner aux eaux une autre route lorsqu'il sera possible. Ainsi des sondages seront à propos dans les lieux où des rivières, des ruisseaux ou même les eaux pluviales disparaissent sans qu'on sache ce qu'elles deviennent. Dès que l'introduction des eaux dans des réservoirs nuisibles aura été constatée nous tâcherons de leur donner une autre direction.

Lorsque nous ne pourrons découvrir ou tarir l'alimentaiion des réservoirs nuisibles, nous tâcherons d'en épuiser les eaux avant qu'elles aient nui. Cet épuisement se fera surtout par les puits artésiens. (1). Dès que, par les premiers sondages, l'existence d'une nappe liquide aura été constatée, des puits artésiens plus larges pourront être forés. Les eaux qui en surgiront pourront souvent être employées pour force motrice, comme on le voit dans le nord de la France. Leur tem-

(1) Les feuilles précédentes étant déjà tirées, et celle-ci au moment d'être mise sous presse, j'apprends que, depuis 1865, Arcachon est alimenté d'eau potable par un magnifique puits artésien. Je m'étonne que des savants, alarmés de la baisse de la plage, contre laquelle ils luttaient vainement, en aient recherché la cause sans songer à l'érosion de la nappe artésienne? Ils étaient cependant en présence du fort Cantiu, immergé sans avoir été détruit ni corrodé et du puits artésien dont les eaux n'ont pu s'écouler sans miner leurs plafonds.

pérature constante et souvent assez élevée jointe à leur limpidité permet de les utiliser d'une multitude de manières, par exemple, pour empêcher les eaux extérieures de geler, pour chauffer les appartements, fournir aux papeteries et autres industries qui, pendant une partie de l'année, ne trouveraient dans certaines localités que des eaux limoneuses, pour fournir à l'alimentation et à la salubrité des villes qui, quelquefois, ne se procurent le minimum des eaux indispensables que par des moyens mécaniques très-onéreux.

Il n'est pas à craindre qu'en augmentant ainsi la quantité des eaux extérieures nous favorisions les inondations. Ces eaux nous arriveront toujours sensiblement avec le même volume et ne pourront, par conséquent, grossir subitement les cours d'eau. Arrivant en tout temps, elles auront rapidement approfondi les rivières plus qu'il ne sera nécessaire pour leur écoulement.

Ces eaux ne peuvent sortir limpides, par les longs conduits verticaux des puits artésiens, sans avoir abandonné dans leurs réservoirs leurs alluvions; donc ces réservoirs diminueront de capacité et de profondeur et le danger des affaissements sera diminué d'autant.

Chaque puits artésien diminuera encore la pression intérieure, et, par suite, la vitesse et la puissance d'érosion avec lesquelles les eaux intérieures fuient vers la mer. La densité de l'eau de mer étant généralement plus considérable que celle des eaux de ces puits, il arrivera souvent que la résistance à l'écoulement sera moindre vers les puits que dans la mer et l'écoulement sous-marin tarira promptement.

La densité moyenne de l'eau de mer est 1,026 (1); en nous en tenant à ce chiffre, si nous supposons une nappe d'eau à 513 mètres de profondeur au-dessous d'un sol situé à une altitude de 13 mètres au-dessus du niveau de la mer, la nappe liquide n'aura pas plus de pression à supporter dans le puits qu'à sa sortie dans la mer. Or, une partie des landes de la Gascogne est bien au-dessous de 13 mètres; les eaux d'une nappe, comme ci-dessus, dont la pression serait assez grande pour vaincre celle des eaux de l'Océan, pourraient donc surgir sur le sol et avoir encore assez de pente pour s'écouler

(1) Annuaire du Bureau des Longitudes.

extérieurement dans l'Océan ; (1) il est évident qu'on pourrait, en multipliant les puits artésiens, diminuer assez le volume de leurs réserves pour que la pression fût, à leur sortie dans la mer, incapable de vaincre celle des eaux marines. L'érosion, cause des affaissements, serait donc supprimée.

Il y a cependant des cas où il sera utile d'introduire les eaux dans l'intérieur de la terre, même et surtout avec la prévision qu'elles iront se perdre dans la mer. Par exemple, lorsqu'il s'agira de se débarrasser d'eaux d'un petit volume, mais d'une nature très-nuisible, comme il arrive pour certaines usines métallurgiques et certaines industries insalubres. C'est ainsi que la voirie Bondy (Paris), se débarrasse chaque jour de 100 mètres cubes d'eaux vannes.

§ 5. Considérations extrinsèques.

Les études et les ouvrages que je propose pour les réservoirs intérieurs sont considérables ; les dangers auxquels ils doivent pourvoir sont moins apparents ; même, en réalité, les moyens proposés dans le premier chapitre peuvent généralement suffire pour remédier aux inondations fluviatiles. La réalisation des moyens du présent chapitre paraîtra, peut-être, à plusieurs moins urgente. Néanmoins si l'on considère que ces ouvrages et ces études ne seront pas seulement utiles au point de vue des inondations, et qu'on sera dédommagé d'une multitude de manières, on en trouvera la réalisation moins onéreuse. Nous venons de voir certains avantages qu'en retireront l'agriculture, le commerce et l'industrie. De plus, par les sondages, on trouvera souvent des filons métalliques, des phosphates, de la houille, des eaux minérales et thermales, du pétrole, etc., des richesses de toutes sortes ; la géologie fera des progrès plus rapides ; l'exploration des cavernes fournira à l'archéologue des documents importants ; enfin, la connaissance des cavités intérieures sera très-utile pour l'établissement des chemins de fer, qui tantôt trouveront des tunnels presque tout préparés et économiseront ainsi des millions, tantôt éviteront d'asseoir leurs ouvrages lourds et importants sur un terrain qui n'inspirera pas assez de sécurité, etc. (2).

(1) Le fait existe. (Voir la note de la page. 103.)

(2) On vient de décréter un chemin de fer qui passera à proximité de

§ 6. Préservatifs indirects des affaissements.

Nous avons déjà vu (p. 81) que les barrages astatiques sont un moyen d'exhaussement du sol, ils sont donc encore un préservatif indirect des affaissements. Les affaissements qui proviennent de l'érosion sont, en général, très-lents et il sera difficile que l'on ne puisse, au moyen des barrages, produire des exhaussements équivalents.

L'approfondissement du lit des rivières près de l'embouchure, est encore un préservatif des affaissements. Les eaux qui dorment sans déclivité s'infiltrent à travers les alluvions, puis peuvent pénétrer plus profondément par les failles et créer des sources dans la mer. Si, au contraire, la vitesse devient plus considérable, les eaux pluviales prendront sans s'infiltrer la route plus facile selon le lit de la rivière, à la manière des eaux qui coulent dans les rigoles d'une toiture et qui inonderaient les appartements si la pente, restant la même, elles n'étaient pas réunies en rigoles. Lorsque les eaux sont animées d'une certaine vitesse, non-seulement elles ne tendent guère à s'infiltrer, mais elles produisent même une succion ou attraction des eaux voisines.

Conclusion de la troisième partie.

Ici se termine l'étude des préservatifs *nécessaires*, *prati-*

Marcillac (Lot). Nous avons vu (p. 59) que cette localité possède de vastes cavernes. Or, pendant l'impression de cette étude, un éboulement a eu lieu sur le parcours du chemin de fer dans l'arrondissement de Rodez, près de Marcillac (Aveyron); cet affaissement s'est fait sentir sur une étendue de 200 mètres en longueur et de 60 mètres en largeur.

Marcillac (Aveyron), sans offrir au touriste des cavernes semblables à celles de Marcillac (Lot), se trouve cependant dans des conditions géologiques assez semblables. Au milieu d'un bassin de prairies, entouré de vignobles, il est placé sur le Dourdon, entre le Lot et l'Aveyron, comme son homonyme, sur le Célé, près du Lot. On rencontre à peu de distance des formations géologiques d'âges très-différents : terrains granitiques, terrains houillers, terrains triasiques, divers étages de terrains jurassiques : comme lias, grande oolithe, etc.

Les cavités souterraines ainsi que les fissures et les failles qui permettent aux eaux extérieures de passer dans les réservoirs intérieurs, étant surtout nombreuses, aux changements de formation géologique, l'affaissement qui vient d'avoir lieu a été causé très-probablement par les eaux pluviales plus abondantes de cette année.

ques et suffisants s'ils sont appliqués assez largement. La généralisation des barrages astatiques est ce qui me parait le plus indispensable. Par là, nous donnerons aux eaux un écoulement suffisant et exhausserons le sol des contrées menacées de passer complètement dans leur domaine. Ce que j'ai dit des eaux souterraines est aussi très-important. L'étude que j'en propose a des avantages de toute nature. En rétablissant l'alimentation de réservoirs intérieurs, nous ne perdrons rien du sol cultivé et nous retarderons l'écoulement dans la limite du possible; et en épuisant les réservoirs qui produisent les affaissements du sol, nous faisons surgir des eaux qui, par la constance de leur régime et leurs autres qualités, nous dédommageront de ce qu'elles nous auront coûté.

J'espère des critiques partant de gens bien intentionnés, je tâcherai de répondre à celles qui me parviendront; et je m'estimerai heureux, si de la discussion surgit la solution du grand problème que j'ai cherché à résoudre. Merci à tous ceux qui trouveront mieux.

Quant aux attaques partant d'intentions égoïstes, je n'y crois pas. Il n'existe pas d'âme assez vile pour vouloir les inondations, et pour en combattre sciemment les préservatifs.

J'ai encore un autre projet à présenter, je l'ai réservé pour un supplément, je le crois éminemment utile; mais il est opposé à un autre projet en cours d'étude et hautement patronné. Toutefois il rentre parfaitement dans mon sujet, car il permet d'augmenter immédiatement la déclivité de tous les fleuves du bassin de la Méditerranée. J'y attache la plus grande importance et je suis persuadé que tôt ou tard il sera exécuté.

La seule crainte de nuire à la réalisation de préservatifs *immédiatement indispensables* me l'a fait rejeter, dans un supplément, comme un hors d'œuvre, et rédiger l'étude qui précède, de manière à la rendre complètement indépendante de ce projet.

SUPPLÉMENT

Avantages d'une baisse de niveau de la mer Méditerranée et de la mer Noire, et moyens de l'exécuter.

Par cette baisse nous assainirons et rendrons à l'agriculture les salures stériles ainsi que les étangs et les marais insalubres qui s'étendent sur une longueur de plus de 300 kilomètres, de Port-Vendres jusq'au-delà de Marseille, ainsi que les marais Pontins, les lagunes de Venise, les marécages du Danube et des autres fleuves qui se jettent dans la mer Noire, la mer d'Azow, la mer Méditerranée et ses subdivisions.

En outre, la déclivité et la vitesse des fleuves de ce bassin seront augmentées vers l'embouchure, les alluvions se creuseront, les barres seront entraînées plus avant où les alluvions n'étant pas encore parvenues, il n'existe aucune surélévation du fond de la mer. Les eaux ne s'accumuleront plus comme aujourd'hui dans la partie principale des fleuves, et cette seule mesure suffirait pour diminuer considérablement les inondations.

Enfin la réalisation de ce projet permettra de créer dans le Sahara une oasis beaucoup plus vaste que la mer projetée, et qui communiquera avec la mer par un canal d'eau douce.

Tout cela est très-bien, dira-t-on, mais comment baisser le niveau de la mer Méditerranée ?

Rien de plus simple et de plus facile. Nous ferons sauter à la mer, par la mine, les colonnes d'Hercule. Là est presque tout le travail. Le détroit de Gibraltar, dans sa partie la plus étroite, n'a que 13,800 mètres de largeur ; sa profondeur dans ce passage varie entre 292 et 814 mètres. Nous le fermerons par une jetée. La nature a placé sur la côte d'Afrique la montagne Abyda et sur la côte d'Espagne la montagne Calpé comme pour nous inviter à fermer le détroit ; nous aurons donc peu de frais de transport et de main-d'œuvre. Les roches de ces montagnes, brisées par la mine, se tourneront pendant la chute de manière que leur centre de gravité soit aussi bas

que possible, et se trouveront promptement en équilibre stable ; les sables arrêtés par les roches rempliront les joints ; la fermeture sera terminée par des écluses à sac qui rachèteront la différence de niveau des deux mers ; et le tout pourra être couronné par un chemin de fer qui mettra en communication l'Europe et l'Afrique. Pendant les travaux le cable télégraphique qui va de Londres au canal de Suez sera remonté au bureau de Gibraltar. Des écluses seront aussi établies au canal de Suez pour racheter la différence de niveau entre la mer Rouge et la mer Méditerranée modifiée.

Une fois la mer Méditerranée fermée comme un lac, la baisse de niveau se fera d'elle-même, nous n'aurons guère qu'à la surveiller. Les rayons du soleil et les vents d'Afrique se chargeront d'enlever les eaux qui arrêtent l'écoulement des fleuves. Toutefois il ne se formera point de rapides aux embouchures : les fleuves creuseront leur lit à mesure que l'évaporation fera baisser le niveau de la mer. Nous règlerons le niveau de celle-ci au moyen de nos écluses de Gibraltar et de Suez.

La Méditerranée reçoit par ses fleuves beaucoup moins qu'elle ne perd par l'évaporation. Aussi son niveau est-il au-dessous du niveau de l'Océan, et s'il ne baisse pas indéfiniment, c'est seulement parce que le détroit de Gibraltar agit comme un large fleuve, et lui apporte les eaux inépuisables de l'Océan dont le niveau s'élève deux fois par jour.

La baisse de niveau de la Méditerranée n'augmente point indéfiniment, car elle a pour résultat d'augmenter la vitesse et la quantité des eaux qui affluent de l'Océan. Il existe donc une différence de niveau où il s'établit un certain équilibre.

Dès que le détroit sera fermé, la Méditerranée se comportera comme un grand lac : son niveau baissera jusqu'à ce que l'étendue de la surface d'évaporation soit réduite de manière à enlever seulement les eaux que reçoit cette mer. La baisse me paraît pouvoir devenir assez considérable : au moyen de nos écluses nous l'empêcherons de devenir trop grande. 10 à 20 mètres nous suffisent.

Non-seulement l'afflux des eaux de l'Océan et la différence de niveau des deux mers sont faciles à constater directement, ils sont encore démontrés par la plus grande salure des eaux de la Méditerranée. Car celle-ci reçoit, par le détroit, du sel

qu'elle ne perd point par l'évaporation; c'est pourquoi elle est plus salée que l'Océan.

Toutefois, la profondeur du détroit donne lieu à une limite naturelle de salure qui ne peut être dépassée. En effet, une plus grande quantité de sel produit une augmentation de densité à l'est du détroit et cette augmentation de densité doit surtout être sensible près du fond de la mer où se rendent les eaux les plus denses; il en peut résulter à l'est du détroit une colonne liquide qui, malgré sa moins grande hauteur, peut avoir un poids plus grand que la colonne plongeant vis-à-vis à la même profondeur dans l'Océan, d'où il peut se former un contre-courant inférieur qui amène les eaux de la Méditerranée dans l'Océan et empêche la différence de salure de s'élever au-delà d'une certaine limite.

Toutefois, si ce contre-courant existe, il n'infirme nullement le transport actuel des eaux de l'Océan dans la Méditerranée puisqu'il n'existe qu'en vertu du surcroît de sel apporté par l'Océan dans la Méditerranée.

La réalisation de ce projet rend impossible la mer du Sahara, mais en même temps elle la rend heureusement inutile, et même les deux projets ne sont opposés qu'en apparence. Je ne veux pas examiner si la mer saharienne n'a pas de graves inconvénients. On a fini par conclure, je crois, que la nappe d'eau douce qui alimente les puits artésiens est séparée de la mer projetée par des couches d'argile imperméable, et que les autres puits sont tous placés à un niveau supérieur à celui de la mer Méditerranée; j'aime à croire que la capillarité sera moins efficace pour produire au Sahara l'ascension des eaux salées qu'elle l'est sur le littoral de nos départements méridionaux. Quoi qu'il en soit, la carte de notre bassin inondable que présente M. le capitaine Roudaire, dans le *Bulletin de la Société de Géographie,* du mois d'août dernier, montre que près de la moitié de ce bassin inondable est déjà inondé par les chotts. Par conséquent, il est de toute impossibilité que l'introduction des eaux de la mer modifie le climat aussi heureusement qu'on l'a prétendu. D'ailleurs cette mer n'est pas aussi considérable que le nom dont on la décore pourrait le faire supposer. Le capitaine Roudaire porte à 6,000 kilomètres carrés le bassin algérien inondable et il a estimé à 10,000 kilomètres carrés

le bassin tunisien, c'est donc en tout 16,000 kilomètres carrés, un peu moins de trois de nos départements : le département moyen est de 6,095 kilomètres carrés.

Que veut-on en dernière analyse ? Bonifier cette contrée, dont le sol est d'une telle fécondité que partout où l'on peut se procurer de l'eau douce, par n'importe quel moyen, on obtient aussitôt une fertilité prodigieuse. C'est ce que le projet que je présente produira très-certainement dans toute l'étendue des chotts et au loin à l'entour.

Pour créer, au lieu d'une mer, une immense oasis, il suffira d'ouvrir des chotts à la mer une tranchée, non plus assez grande pour amener les eaux de mer en quantité assez considérable pour suffire à l'évaporation sous ce soleil brûlant ; mais suffisante seulement pour permettre la formation d'un courant des chotts à la mer. Ce canal, creusé à travers les sables, s'agrandira de lui-même. On aménagera les cours d'eau nombreux de cette région. La carte du chott Mel'rir, ou plutôt de notre bassin inondable, par M. Roudaire, en montre une trentaine qui y sont désignés pour plus de la moitié par leur nom propre. Les eaux douces de ces cours d'eau ne se réuniront plus en lacs ou en marécages saumâtres, toxiques pour la végétation ; elles débarrasseront le sol du sel qui lui est resté de l'ancienne mer qui occuppait autrefois cette contrée, le pays sera rendu à l'agriculture et le but de la mer saharienne sera dépassé. On aura une immense oasis communiquant à la mer. Selon M. Roudaire, la plus grande profondeur du bassin inondable est de 20 à 27 mètres. Les chotts seront donc remplacés par des lacs de très-médiocre étendue qui serviront de port pour l'exportation des produits de la contrée. L'étendue de cette conquête sur le désert comprendra celle de la mer projetée et celle arrosée par les cours d'eau que l'industrie des colons ne manquera pas d'aménager, de manière à en augmenter l'utilité. Beaucoup de gens se jettent dans les guerres civiles parce qu'ils manquent du nécessaire. Ils pourront se faire une très-belle position dans ce pays peu éloigné de la France, la traversée de Marseille à Alger n'est que de 48 heures, et la distance d'Alger à ce pays des dattes n'atteint pas 300 kilomètres, environ la distance de Paris à Poitiers.

De la même manière, nous dessaleront et rendrons à la cul-

ture les saleures de nos départements méditerranéens. Quelques intérêts particuliers auront un peu à en souffrir : certains ports sont exposés à se trouver à sec, des villes cesseront d'être au bord de la mer. Ces considérations purement locales ne peuvent empêcher la réalisation d'une entreprise d'intérêt général. D'ailleurs il sera facile, dans beaucoup de cas, de pourvoir aux intérêts de tous. L'entrée des ports pourra être fermée par des barrages astatiques, et, en y introduisant les cours d'eau, les alluvions, dont le fond des ports est souvent formé, seront entraînées extérieurement, de sorte que le port se creusera à mesure de la baisse de la mer. De nouveaux ports se dessineront et certains de ceux d'aujourd'hui ne feront que s'éloigner un peu du rivage actuel.

Reste encore une autre difficulté. Les eaux des mers se maintiennent à un niveau sensiblement constant parce qu'elles s'étendent assez pour que l'évaporation enlève autant qu'elles reçoivent. Il est donc évident que les eaux tributaires de l'Océan qui ne viendront pas se vaporiser dans la Méditerranée, auront à se vaporiser dans l'Océan même et en élèveront le niveau de manière à envahir assez pour compenser la baisse sur le littoral méditerranéen.

Examinons cette difficulté. L'envahissement se répartira sur la multitude des côtes de l'Océan entier comme s'y répartissent les différences de niveau provenant des variations accidentelles des saisons. Cet envahissement ne peut être calculé directement ; néanmoins nous pouvons nous en rendre compte indirectement.

L'étendue de la Méditerranée et de la mer Noire réunies est de 2,500,000 kilomètres carrés environ, celle de l'Océan est de 380,270,000 kilomètres carrés, c'est-à-dire 150 fois plus grande. Si donc, demain, 20 mètres d'eau de la Méditerranée étaient transportés subitement dans l'Océan ils y produiraient un exhaussement égal à 14 centimètres. Il n'y a là de quoi alarmer personne. Mais je suppose que l'envahissement résultant de cet exhaussement ne se maintiendrait même pas ; car dans les nombreuses îles du Pacifique, où la profondeur est faible, une légère augmentation de niveau produit une augmentation considérable de surface d'évaporation. Quoi qu'il en soit, il sera facile d'arrêter la baisse du niveau de la Méditerranée quand on voudra au moyen des écluses. Si

l'on se contentait d'une baisse de 10 mètres, on n'élèverait pas le niveau de l'Océan de plus de 7 centimètres. Un certain nombre de nations sont directement intéressées à la réalisation de ce projet, les autres pourront faire leurs réserves, évaluer leurs pertes insignifiantes, et les compensations qu'elles pourront réclamer.

Ce projet ne faisait pas partie des mémoires envoyés à l'Académie et au Président de la République. Je n'y ai pensé qu'en janvier dernier. Le 22 avril dernier je l'ai adressé, par lettre recommandée, à M. Le Verrier, en lui demandant de le communiquer à l'*Académie des Sciences*. Je priais M. Le Verrier d'avoir l'obligeance de m'adresser un exemplaire du numéro des Comptes rendus des séances de l'*Académie des Sciences* où il serait fait mention de mon petit travail. J'avais joint 5 francs à ma lettre pour couvrir M. Le Verrier de ses débours. Evidemment je prenais trop de liberté.

En suite de cet envoi j'ai reçu la lettre suivante :

Paris, 25 avril 1876.

Monsieur,

Nous avons l'honneur de vous retourner ci-inclus la somme de cinq francs que vous nous avez adressée pour l'insertion d'une note *sur les avantages et la possibilité d'une baisse du niveau de la Méditerranée*.

Ce travail n'entre pas dans le cadre du Bulletin de l'Association scientifique.

Veuillez agréer, Monsieur, l'assurance de mes sentiments respectueux.

Le Chef du Secrétariat,
E. Cottin.

Le mémoire n'a pas été retourné. Quant à l'insertion dont parle M. Cottin, j'étais si éloigné de l'avoir demandée que je n'avais pas l'honneur de connaître, même de nom, son Association scientifique. Je ne m'explique pas que M. Le Verrier ait pris cette Association pour l'*Académie des Sciences*. J'ai écrit le 26 avril à M. Le Verrier, pour le prier de réparer cette erreur, et le 27, toujours par lettre recommandée, j'ai envoyé un autre exemplaire du mémoire à M. Dumas, secrétaire perpétuel de l'*Académie des Sciences*, avec

prière de le communiquer à l'Académie et de me tenir compte de la date de mon envoi du 22. Je n'ai pas reçu d'accusé de réception.

Je ne fais aucun commentaire sur ces faits que je me contente de constater. Je reconnais cependant que l'utilité de mon projet peut bien ne pas mériter des discussions aussi sérieuses que celles auxquelles a donné lieu celui de la mer du Sahara, et je me permets de souhaiter à ces Messieurs qu'ils ne fassent jamais mention de projets moins dignes que le mien d'un accusé de réception.

J'ai encore quelques solutions pratiques très-importantes, je me demande comment il faut faire pour obtenir la prise en considération d'un projet utile.

ERRATA

Pages.	Lignes.	*Au lieu de:*	*Lisez :*
10	14	auquel est revenue	auquel elle est revenue
10	25	648 millions	de 648 millions
14	23	détériorent	détérioreront
27	35	changeront	changent
34	9	toutes choses égales d'ailleurs	le débit et la déclivité ne changeant pas
37	6	la barre	de la barre
41	12	dans les flots	sur les flots
46	17	les sables	des sables
47	10	développé	favorisé
52	5,24,26	les crues	les grandes crues
60	23	Les cavités intérieures	Les réservoirs intérieurs
62	6	Dupont	M. Delpon
63	33	alluvions	détritus
90	11	un 0^m 0004	une pente de 0^m 0004

TABLE DES MATIÈRES.

TROISIÈME PARTIE.

PRÉSERVATIFS DES INONDATIONS.

SUPPLÉMENT.

